



TESIS - TM 142501

**STUDI EKSPERIMENTAL KOMPARASI BUKA TUTUP
KATUB BUANG (EXHAUST VALVE) DAN
MODIFIKASINYA TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR
BENSIN 4 LANGKAH DOHC 4 KATUB**

**Anastasia Sri Werdhani
NRP. 2111 202 005**

**Dosen Pembimbing:
Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K., M.Eng.Sc**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



THESIS - TM 142501

**EXPERIMENTAL STUDY ON COMPARISON OF OPEN
CLOSE EXHAUST VALVES AND MODIFICATIONS
THERE OF PERFORMANCE OF MOTOR FUEL VALVE
DOHC 4 STEP 4**

**ANASTASIA SRI WERDHANI
NRP. 2111 202 005**

**Advisor:
Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K., M.Eng.Sc**

**MASTER PROGRAM
ENERGY CONVERSION ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANASTASIA SRI WERDHANI

NRP. 2111 202 005

Tanggal Ujian : 22 Juli 2014

Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui oleh:

1. Prof.Dr. Ir. H Djoko Sungkono M.Eng.Sc
NIP. 19660402.198903 1 002

(Pembimbing)

2. Dr. Bambang Sudarmanta, S.T., M.T.
NIP. 19730116 199702 1 001

(Penguji I)

3. Vivien Suphandani, ST, M.Eng.Sc, Ph.D.
NIP. 198105292003122001

(Penguji II)

4. Dr. Bambang Arip D., S.T., MSc., Eng.
NIP. 19730116 199702 1 001

(Penguji III)

Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 19640405 199002 1 001



STUDI EKSPERIMENTAL KOMPARASI BUKA TUTUP KATUP BUANG (*EXHAUST VALVE*) DAN MODIFIKASINYA TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH DOHC 4 KATUP

Nama mahasiswa : Anastasia Sri Werdhani
NRP : 2111202005
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K., M.Eng.Sc

Abstrak

Dewasa ini pemanasan global dan polusi atmosfer sudah menjadi masalah sosial yang mana salah satu penyebabnya adalah hasil pembakaran dari motor bakar. Selain itu juga terjadinya krisis energi di dunia dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi yang berasal dari fosil mendorong dilakukannya inovasi-inovasi dan penelitian-penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan performa dari mesin dan mengurangi efek emisi gas buang. Salah satunya dengan menggunakan variable valve timing. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variasi derajat buka tutup katub buang (*exhaust valve*) terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah DOHC 4 katub serta pengaruhnya terhadap emisi gas buang.

Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan motor bensin 4 langkah DOHC (Double Over Head CamShaft) 4 katub dengan membandingkan durasi derajat bukaan katub buang (*exhaust valve*) pada camshaft standar dan modifikasinya. Pengujian dilakukan dengan cara memvariasikan derajat bukaan katub buang (*exhaust valve*) pada camshaft standar dan modifikasinya dengan menggeser camshaft ke arah kanan $+15^{\circ}$, $+10^{\circ}$, $+5^{\circ}$, dan ke arah kiri -5° , -10° , -15° dan menutup pada derajat $+15^{\circ}$, $+10^{\circ}$, $+5^{\circ}$, -5° , -10° , -15° , dan dilakukan dengan menggunakan *dyno test*.

Dari pengujian yang dilakukan didapatkan hasil bahwa pada camshaft standar dengan pergeseran camshaft $+5^{\circ}$ ke arah kanan menunjukkan kenaikan unjuk kerja mesin yang terbaik dengan kenaikan daya sebesar 5% dan torsi sebesar 1,40% serta *sfc* mengalami penurunan sebesar 3,2% dibandingkan dengan camshaft standar. Sedangkan pada camshaft modifikasi, unjuk kerja yang terbaik ada pada pergeseran $+15^{\circ}$ ke arah kanan dengan kenaikan daya sebesar 9% dan torsi sebesar 0,26% serta *sfc* mengalami penurunan sebesar 9% dibandingkan camshaft modifikasi nol. Namun unjuk kerja camshaft modifikasi tidak lebih baik dibandingkan dengan camshaft standar, karena bila menginginkan unjuk kerja camshaft modifikasi yang lebih baik maka yang diubah bukan hanya pergeseran camshaft saja namun juga diperlukan modifikasi pada sistem karburasi, kompresi atau kapasitas silinder yang lebih besar guna mendapatkan performa daya dan torsi yang lebih baik dibanding camshaft *exhaust* standar.

Kata Kunci : Variable valve timing, katub buang (*exhaust valve*), DOHC, emisi gas buang

halaman ini sengaja dikosongkan

EXPERIMENTAL STUDY ON COMPARISON OF OPEN CLOSE EXHAUST VALVES AND MODIFICATIONS THERE OF PERFORMANCE OF MOTOR FUEL VALVE DOHC 4 STEP 4

Student Name : Anastasia Sri Werdhani
NRP : 2111202005
Departement : Mechanical Engineering, FTI-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K, M.Eng.Sc

ABSTRACT

Today global warming and atmospheric pollution has become a social problem where one of the causes is the result of the combustion of motor fuel. In addition, the energy crisis in the world and the depletion of oil reserves are derived from fossil encourage innovations and studies aimed at improving the performance of the engine and reducing the effects of exhaust emissions. One of them is by using variable valve timing. This test is done to determine the effect of variations in the degree of opening and closing of the exhaust valve (valve exhaust) on the performance of the motor gasoline 4 stroke DOHC 4 valve and its influence on exhaust emissions.

Tests carried out experimentally using gasoline motor 4 stroke DOHC (Double Over Head Camshaft) 4 valve by comparing the duration of the valve opening degree of the exhaust (exhaust valve) on the standard camshaft and modifications. Testing is done by varying the degree of opening of the exhaust valve (exhaust valve) on the standard camshaft and camshaft modifications by scrolling to the right $+15^{\circ}$, $+10^{\circ}$, $+5^{\circ}$, and to the left -5° , -10° , -15° and closed at $+10^{\circ}$, $+5^{\circ}$, -5° , -10° , -15° , and is done by using a dyno test.

From the tests showed that the standard camshaft with camshaft $+5^{\circ}$ shift to the right shows the increase in engine performance is best with a 5% increase in power and torque of 1.40% and sfc decreased by 3.2% compared to the standard camshaft. While at camshaft modification, the performance of the best available on the shift $+15^{\circ}$ towards the right with an increase of 9% and top torque of 0.26% and sfc decline of 9% compared camshaft modification zero. However, performance camshaft modification is not better than the standard camshaft, because if want a performance camshaft modification better then that changed not only shift the camshaft, but also required modifications to the carburizing system, compression or cylinder capacity greater power to obtain performance and torque better than the standard exhaust camshafts.

Keywords : Variable valve timing, (exhaust valve), DOHC and exhaust emissions

halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Kata Pengantar	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Motor Bensin 4 Langkah	5
2.2 Komponen-Komponen Yang Terdapat Pada Mesin Otto	7
2.2.1 Kepala Silinder (Cylinder Head)	7
2.2.2 Ruang Bakar	7
2.2.3 Katub	8
2.2.4 Dudukan Katub	9
2.2.5 Pengatur Katub / Bos Katub	9
2.2.6 Pegas Katub	9
2.2.7 Rocker Arm	9
2.2.8 Poros Engkol	10
2.3 Cam Dan Camshaft	10
2.4 Timing Chain	11

2.5 Mekanisme Katub	12
2.5.1 Overlapping	14
2.5.2 Lobe Separation Angle (LSA)	15
2.6 Variable Valve Timing	16
2.7 Parameter Unjuk Kerja	22
2.7.1 Torsi	23
2.7.2 Daya Motor (<i>Brake Horse Power</i>)	23
2.7.3 Tekanan Efektif Rata-Rata (<i>Brake Mean Effective Pressure</i>).....	24
2.7.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (<i>Specific Fuel Consumption</i>).....	25
2.7.5 Efisiensi Thermal	25
2.7.6 Emisi Gas Buang	26
2.8 Dynamometer	29
2.8.1 Prinsip Operasi	29
2.8.2 Tipe Dynamometer	30
2.8.3 Bagaimana Dynamometer Digunakan Untuk Uji Mesin?	30
2.8.4 Metode Pengujian Secara umum	31
2.8.5 Engine Dynamometer	31
2.8.6 Chassis Dynamometer	31
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Rancangan Dalam Penelitian	34
3.2 Camshaft	36
3.3 Cara Pengukuran Derajat Camshaft	37
3.4 Prosedur Pengujian	38
3.2.1 Prosedur Pengujian Performa Mesin	39
3.2.2 Prosedur Pengujian Emisi Gas Buang	40
3.3 Peralatan Dan Instrumen Pengujian	40
BAB IV HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISA.....	47
4.1 Perhitungan Unjuk Kerja	47
4.1.1 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc).....	47

4.1.2 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-rata.....	48
4.1.3 Perhitungan Effisiensi Thermal (η_{th})	49
4.1.4 Perhitungan Effisiensi Volumetris	49
4.2 Analisa Unjuk Kerja	50
4.2.1 Camshaft Standart.....	50
4.2.1.1 Torsi.....	50
4.2.1.2 Daya.....	53
4.2.1.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc).....	57
4.2.2 Camshaft Modifikasi.....	59
4.2.2.1 Torsi.....	59
4.2.2.2 Daya.....	61
4.2.2.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc).....	64
4.2.3 Komparasi Camshaft Standar Dan Camshaft Modifikasi	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	75

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Nomor Tabel :

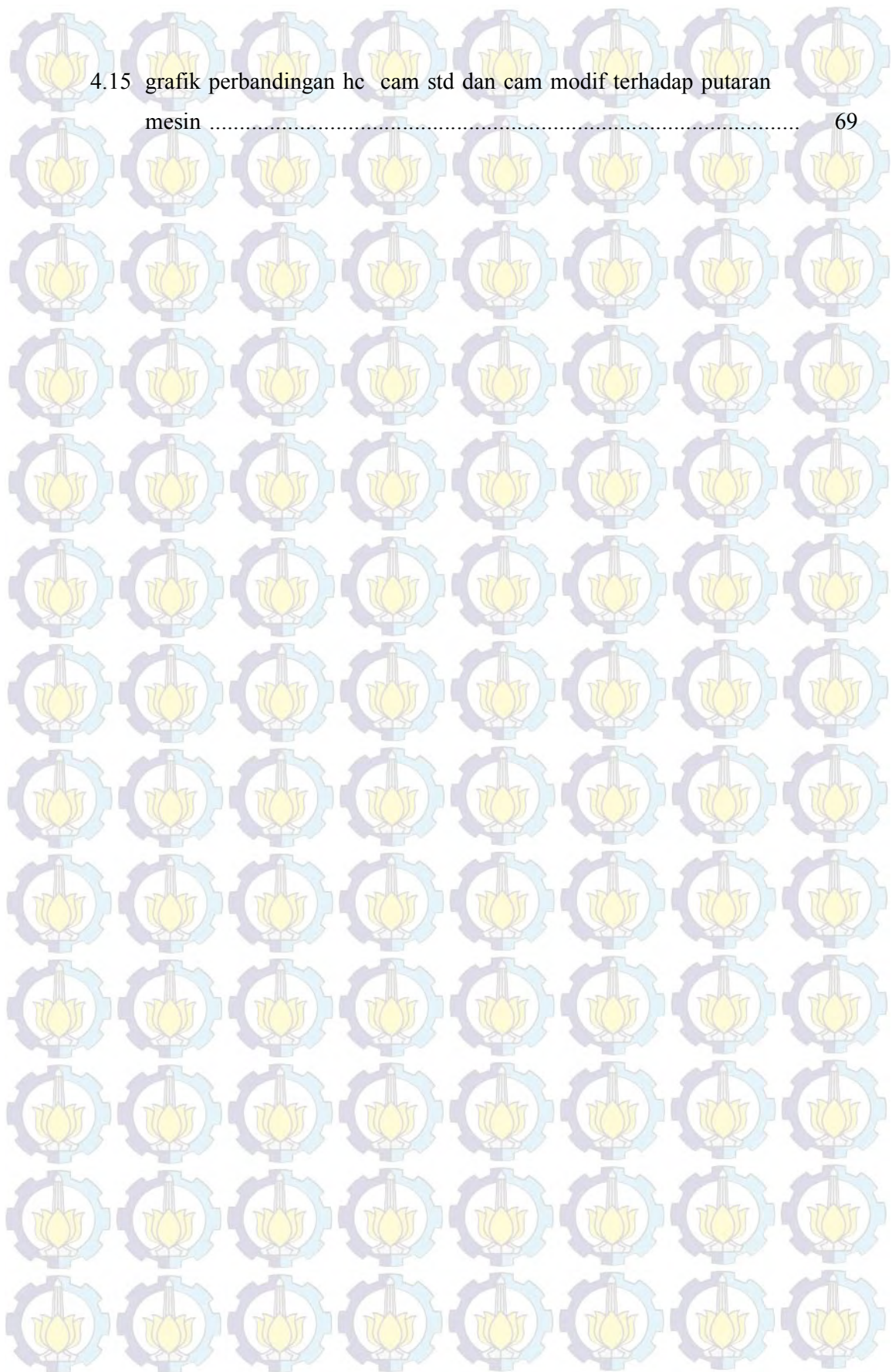
Halaman

3.1	Data buka tutup camshaft exhaust standar dan camshaft modifikasi ...	35
3.2	Data buka tutup katub buang (<i>exhaust valve</i>) standar dan pergeserannya.....	35
3.3	Data buka tutup katub buang (<i>exhaust valve</i>) modifikasi dan pergeserannya	35
4.1	Torsi mesin (N.m) untuk cam exhaust standar dengan variabel derajat bukaan katub buang (<i>exhaust valve</i>)	51
4.2	Daya mesin (hp) untuk cam exhaust standar variabel dengan pergeseran ke kanan $+5^0$, $+10^0$, $+15^0$ dan kekiri -5^0 , -10^0	54
4.3	Torsi mesin (N.m) untuk cam exhaust standar dengan variabel derajat bukaan katub buang (<i>exhaust valve</i>)	59
4.4	Daya mesin (hp) untuk cam exhaust standar dengan variabel derajat bukaan katub buang (<i>exhaust valve</i>)	61

DAFTAR GAMBAR

Nomor Gambar:	Halaman
2.1 Motor Spark Ignition Engine 4 Langkah	5
2.2 Diagram P-V Siklus Ideal Pada Motor Bensin 4 Langkah	6
2.3 Ruang Bakar di Silinder Head	7
2.4 Rocker Arm	10
2.5 Camshaft dan Fungsi Lobe	11
2.6 Mekanisme Katub	12
2.7 Valve Overlap	14
2.8 Diagram Lift- θ Buka Tutup Katup	15
2.9 Lobe Separation Angle	16
2.10 Pengaruh mekanisme EVVT terhadap konsentrasi NO _x [1].....	18
2.11 Pengaruh mekanisme EVVT terhadap bsfc [1]	18
2.12 Daya terhadap derajat EVO (Exhaust Valve Open) untuk kecepatan yang berbeda [7]	19
2.13 BSfc terhadap derajat EVO (Exhaust Valve Open) untuk kecepatan yang berbeda [7]	19
2.14 Daya terhadap derajat EVC (Exhaust Valve Close) untuk kecepatan yang berbeda [7]	20
2.15 BSfc terhadap derajat EVC (Exhaust Valve Close) untuk kecepatan yang berbeda [7]	20
2.16 Grafik perbandingan torsi terhadap putaran mesin [8]	21
2.17 Grafik perbandingan daya terhadap putaran [8]	22
2.18 Grafik bmep terhadap sfc [4]	22
2.19 Tipikal kurva ketiga polutan utama yang dihasilkan motor pembakaran dalam (Kawano, 2012)	28
3.1 Diagram katub camshaft standar dan camshaft modifikasi	34
3.2 <i>Camshaft</i> standar dengan tinggi lift 6.3 mm	36
3.3 Camshaft modifikasi dengan tinggi lift 7.3 mm	36

3.4	Dial Gauge	37
3.5	Skema instrumen penelitian	43
3.6	Posisi motor diatas chasis dynamometer.....	44
3.7	Pengecekan top mati atas dan top camshaft	44
3.8	Probe gas analyzer	44
3.9	Gas analyzer	45
4.1	Grafik torsi (N.m) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust standar +5, +10 ⁰ , dan +15 ⁰	51
4.2	Grafik torsi (N.m) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust standar, -5°, dan -10°	52
4.3	Grafik torsi cam standar terhadap putaran mesin untuk pergeseran terbaik	53
4.4	Grafik daya vs putaran mesin pada pergeseran cam ke kanan (+5, +10,+15)	55
4.5	Grafik daya (hp) terhadap putaran mesin pada cam -5° dan -10°	56
4.6	Grafik daya (hp) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust standar +5 ⁰ , dan -5 ⁰	57
4.7	Grafik sfc vs putaran mesin pada pergeseran cam terbaik (+5° dan - 5°)	58
4.8	Grafik torsi (N.m) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust standar +5 ⁰ , +10 ⁰ , +15 ⁰ dan -5 ⁰	60
4.9	Grafik Daya (hp) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust modifikasi +5 ⁰ , +10 ⁰ , +15 ⁰ dan -5 ⁰	62
4.10	Grafik daya (hp) vs putaran mesin untuk camshaft modifikasi dan geseran terbaik	63
4.11	Grafik sfc (gr/hp.min) vs putaran mesin untuk camshaft modifikasi dan geseran terbaik	64
4.12	Grafik perbandingan daya camshaft standar dan modifikasi	66
4.13	Grafik perbandingan torsi camshaft standar dan modifikasi	67
4.14	Grafik perbandingan sfc camshaft standar dan camshaft modifikasi	68



4.15 grafik perbandingan hc cam std dan cam modif terhadap putaran mesin

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan kenaikan bahan bakar minyak dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi merupakan masalah utama yang sedang hangat di bicarakan saat ini. Berbagai macam inovasi dan penemuan – penemuan teknologi baru sudah di ciptakan demi mengurangi penggunaan bahan bakar fosil ini dan juga untuk mengurangi emisi gas buang yang telah diaplikasikan pada kendaraan yang di produksi secara masal. Tujuannya adalah untuk meningkatkan performa mesin , keamanan, dan kenyamanan kendaraan tersebut.

Usaha penghematan ini dapat dilakukan dengan mencari metode baru yang lebih efisien dan melakukan eksperimen-eksperimen dengan memodifikasikan sistem atau metode yang sudah ada sekarang menjadi lebih efisien lagi. Teknologi yang sudah dikembangkan dan terus digunakan sampai sekarang sebagai tujuan dari penghematan penggunaan bahan bakar minyak adalah dengan memodifikasi mesin dengan siklus otto 4 langkah. Mesin ini dikembangkan lagi dari berbagai sisi mulai dari penambahan jumlah katub, menggunakan teknologi EFI (*electronic fuel injection*) sampai melakukan modifikasi pada *camshaft* yang mengatur buka tutup katub *intake* dan *exhaust*. Penghematan bahan bakar adalah langkah yang dapat di lakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar, namun hal ini memiliki dampak pada kerja mesin seperti berkurangnya tenaga yang dihasilkan pada mesin tersebut

Salah satu terobosan yang telah dikembangkan saat ini dalam dunia otomotif adalah penemuan teknologi pengaturan buka tutup dari katub. Teknologi ini dipercaya dapat memberi pengaruh yang besar terhadap usaha meningkatkan tenaga dan sebaliknya mampu menekan konsumsi bahan bakar serta emisi gas buang yang lebih baik. Katub *variable timing* adalah teknologi yang mengatur waktu membuka- menutup katub masuk (*intake valve*) dan katub buang (*exhaust valve*) sesuai kondisi performa yang diharapkan dari mesin. Hal ini akan membuat percampuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam

ruang bakar menjadi efisien sehingga akan menghasilkan tenaga yang besar, hemat bahan bakar dan emisi yang rendah. Jumlah pencampuran udara dan bahan bakar yang lebih besar dan di sesuaikan dengan pengaturan waktu membuka dan menutup katub masuk (*intake valve*) dan katub buang (*exhaust valve*) akan menghasilkan tenaga yang lebih besar dan meningkatkan efisiensi mesin juga menekan emisi gas buang yang di hasilkan.

Potensi dari sistim variable valve timing sederhana (VVT) telah diselidiki. Sistem ini telah dirancang dengan tujuan mengoptimalkan baik kinerja mesin dan khususnya, konsumsi bahan bakar pada operasi beban sebagian (*Fontana dan Galloni. 2009*).

Penelitian yang dilakukan oleh (*Nagaya dkk, 2005*) mengungkapkan bahwa penggunaan Variable valve timing (VVT) pada mesin spark ignition berhasil meningkatkan nilai ekonomi bahan bakar, mengurangi gas NO_x dan meningkatkan torsi puncak dan daya. (*Kosuke Nagaya, Hiroyuki Kobayashi, Kazuya Koike. 2005*)

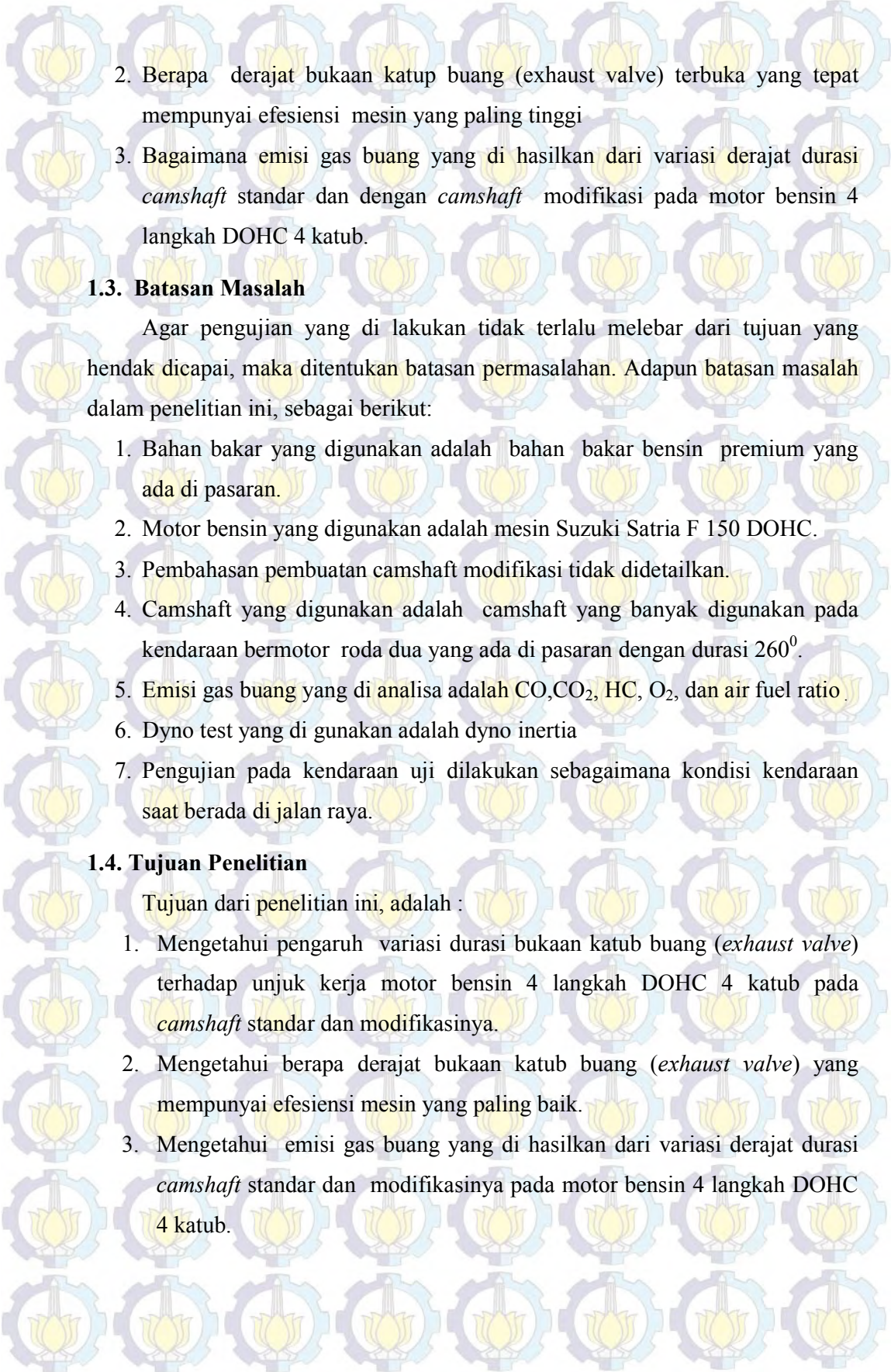
Pada penelitian yang telah dilakukan oleh *Sher dan Bar-Kohany (2002)*, ditunjukkan bahwa kinerja mesin SI komersial unthrottled diinstal dengan Variable Valve Timing didapatkan peningkatan daya sebesar 6%.

Dalam bukunya Kawano (2011) menuliskan, “ yang menjadi masalah adalah berapa derajat kedudukan poros engkol atau piston ketika katup buang membuka. Bila membuka terlalu cepat maka tekanan di dalam ruang bakar saat itu masih tinggi akan hilang ke atmosfer, namun bila di buka lambat akan menyebabkan kerugian pemompaan menjadi tinggi”.

1.2. Perumusan Masalah

Durasi buka tutup katub pada intake dan exhaust pada camshaft standar dan camshaft yang telah di modifikasi tentunya berbeda terhadap efesisnsi mesin. Dari uraian tersebut dipilih bervariasi durasi derajat dari *exhaust valve*, maka permasalahan yang akan dicari pemecahannya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi derajat durasi bukaan katub buang (*exhaust valve*), dimana poros cam divariasikan modifikasinya pada motor bensin 4 langkah DOHC 4 katub.

- 
2. Berapa derajat bukaan katup buang (*exhaust valve*) terbuka yang tepat mempunyai efisiensi mesin yang paling tinggi
 3. Bagaimana emisi gas buang yang dihasilkan dari variasi derajat durasi *camshaft* standar dan dengan *camshaft* modifikasi pada motor bensin 4 langkah DOHC 4 katub.

1.3. Batasan Masalah

Agar pengujian yang dilakukan tidak terlalu melebar dari tujuan yang hendak dicapai, maka ditentukan batasan permasalahan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar bensin premium yang ada di pasaran.
2. Motor bensin yang digunakan adalah mesin Suzuki Satria F 150 DOHC.
3. Pembahasan pembuatan *camshaft* modifikasi tidak didetailkan.
4. *Camshaft* yang digunakan adalah *camshaft* yang banyak digunakan pada kendaraan bermotor roda dua yang ada di pasaran dengan durasi 260°.
5. Emisi gas buang yang dianalisa adalah CO, CO₂, HC, O₂, dan air fuel ratio.
6. Dyno test yang digunakan adalah dyno inertia
7. Pengujian pada kendaraan uji dilakukan sebagaimana kondisi kendaraan saat berada di jalan raya.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi durasi bukaan katub buang (*exhaust valve*) terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah DOHC 4 katub pada *camshaft* standar dan modifikasinya.
2. Mengetahui berapa derajat bukaan katub buang (*exhaust valve*) yang mempunyai efisiensi mesin yang paling baik.
3. Mengetahui emisi gas buang yang dihasilkan dari variasi derajat durasi *camshaft* standar dan modifikasinya pada motor bensin 4 langkah DOHC 4 katub.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumbangan pemikiran bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan memberikan gambaran mengenai durasi derajat bukaan katup exhaust yang tepat untuk mendapat performa mesin yang baik. Selain itu juga dalam upaya mendukung program pemerintah tentang pengurangan emisi gas buang sehingga dapat mengurangi pemanasan global.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini, secara ringkas dapat dijelaskan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini diuraikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Pada bagian ini diuraikan beberapa landasan teori dan hasil penelitian sebelumnya.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan diuraikan metode penelitian, spesifikasi peralatan yang akan dipakai dalam pengujian, cara pengujian, dan data yang diambil.

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA

Dalam bab ini dibahas tentang perhitungan dan analisa dari data yang didapat dari hasil penelitian.

BAB V PENUTUP

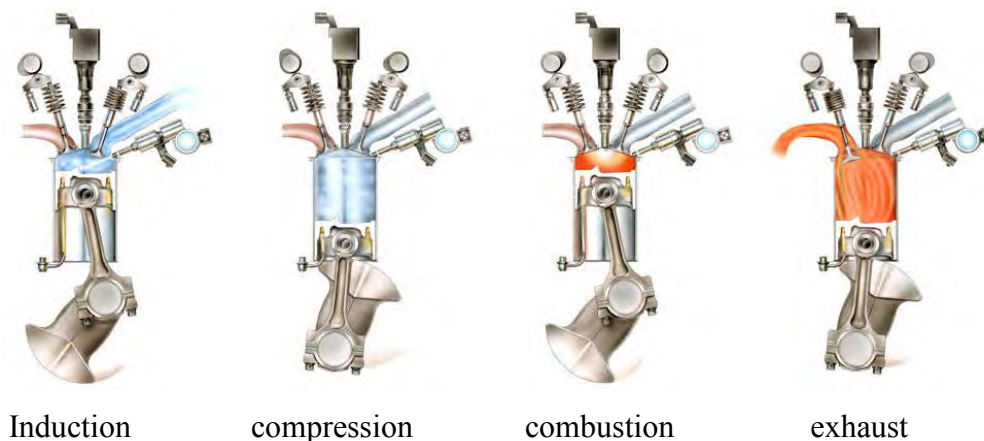
Pada bagian ini berisi kesimpulan hasil penelitian serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Bensin 4 Langkah

Alat yang mengubah tenaga panas menjadi tenaga penggerak disebut motor bakar (head engine). Motor bensin 4 langkah menggunakan bensin sebagai bahan bakarnya. Pada motor bensin torak Spark Ignition Engine 4 langkah, satu siklus operasi diselesaikan dalam empat langkah dari piston atau dua putaran dari crankshaft, setiap langkah berisi 180^0 engkol sehingga seluruh cycle menjadi 720^0 engkol. Secara urutan operasi dari siklus 4-langkah Spark Ignition Engine ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Motor Spark Ignition Engine 4 langkah

(www.cpnation .com)

1. Langkah hisap (induction)

Dimulai pada saat piston berada di titik mati atas dan akan bergerak menuju ke bawah. Katub inlet terbuka dan katub ekshaus tertutup. Penghisapan yang di timbulkan oleh gerakan piston menuju titik mati bawah, dan isi baru campuran udara dan bahan bakar dengan menggunakan sistem karburator masuk ke dalam silinder, pada akhir langkah hisap ini inlet valve menutup.

2. Langkah kompresi (compression)

Sesudah isi baru di dalam ruang silinder tadi ditekan oleh piston karena gerakannya ke atas. Pada saat kompresi kedua katub tertutup, sedangkan isi

baru tadi terkompresi sampai hanya di ruang clearance saja. Hampir menjelang akhir dari kompresi campuran (isi baru) dinyalakan dengan bantuan loncatan bunga api listrik yang ditimbulkan oleh kedua ujung busi yang di letaknya pada dinding ruang bakar. Pembakaran terjadi ketika piston hampir sampai pada titik mati atas. Selama proses pembakaran enersi kimia dari bahan bakar dirubah menjadi enersi sensibel menghasilkan kenaikan temperatur sekitar 2000°C dan bersamaan dengan kenaikan tinggi tekanan.

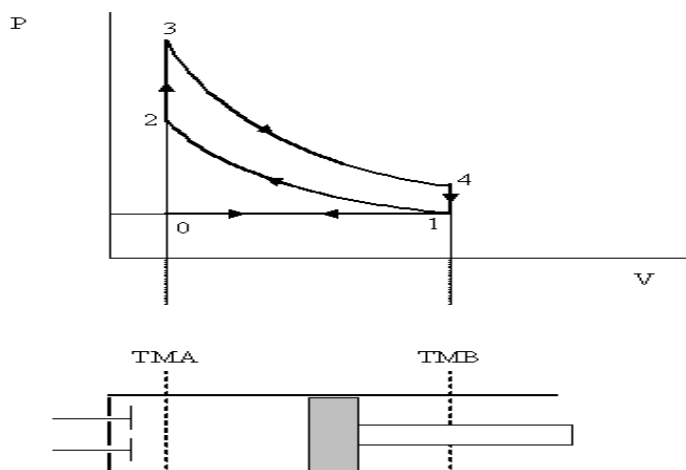
3. Langkah kerja atau langkah ekspansi (combustion)

Karena tekanan gas yang terbakar tinggi maka akan menekan piston ke arah titik mati bawah , sementara itu kedua katub masih tertutup. Jadi tenaga di dapatkan selama langkah ini, kemudian tekanan dan temperatur turun selama ekspansi.

4. Langkah buang (exhaust)

Pada akhir langkah kerja katub buang membuka, sedangkan katub inlet tetap tertutup dan piston bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas sambil menyapu gas – gas yang telah terbakar keluar dari silinder.

Siklus kerja motor otto dapat digambarkan pada diagram indikator, yaitu diagram P-V (tekanan-Volume) dan diagram T-S (tekanan – entropi). Diagram indikator ini berguna untuk melakukan analisis terhadap karakteristik internal motor otto. Diagram siklus nyata P-V 4 langkah ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Diagram P–V siklus ideal pada motor bensin 4 langkah
(heywood, 1989)

2.2. Komponen – komponen yang terdapat pada mesin Otto

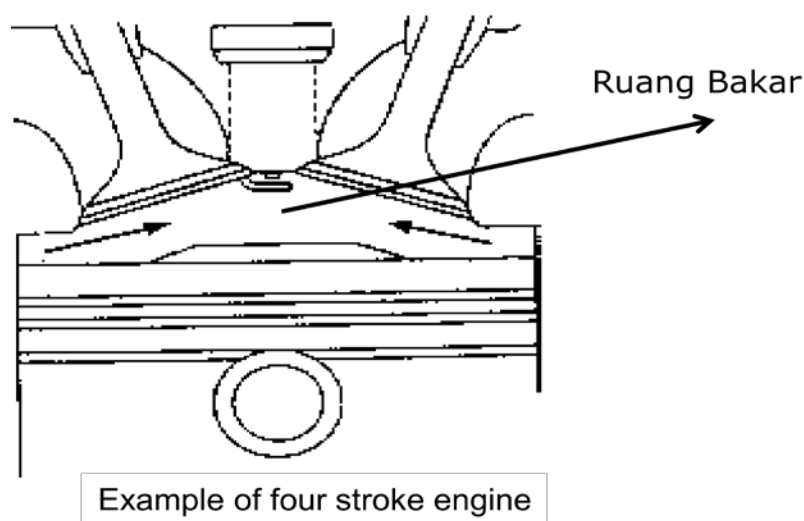
2.2.1 Kepala silinder (cylinder Head)

Seperti halnya pada silinder yang mengalami tekanan dan temperatur tinggi, demikian juga pada kepala silinder terutama dibagian ruang bakarnya. Umumnya kepala silinder dibuat dari bahan aluminium paduan dengan sirip-sirip pendinginan, serta pada sekeliling ruang bakarnya dilengkapi dengan SQUISH AREA yang berfungsi untuk menimbulkan turbulensi campuran bahan bakar didalam ruang bakar, sehingga gas akan terarah pada pusat pembakaran sehingga akan terjadi proses pembakaran yang sempurna.

Silinder head adalah bagian mesin yang terdapat di ruang bakar dan bersama dengan piston membentuk ruang tertutup sebagai tempat proses pembakaran. Silinder head juga terpasang valve atau katub, camshaft atau poros bubungan, pelatuk atau rocker arm serta pegas katub atau spring valve.

2.2.2. Ruang Bakar

Ruang pembakaran adalah tempat dimana tercampurnya udara dan bahan bakar, mengalir melalui port masuk, dan dibakar (gambar 2.3). Bentuk dari ruang ini ditentukan oleh bentuk dari bagian di dalam kepala silinder dan dari bagian atas piston. Bentuk sebenarnya dan volume dari ruang pembakaran selalu berubah, seiring dengan piston yang bergerak naik dan turun, tapi pada umumnya diklasifikasikan oleh bentuknya ketika piston berada pada bagian tengah yang mati di sebelah atas.



Gambar 2.3 Ruang bakar di silinder head

Ada tiga persyaratan untuk ruang bakar motor SI yaitu : daya output yang tinggi dengan persyaratan minimum oktan, thermal efisiensi tinggi, dan operasi motor yang mulus. Ketiga faktor ini dapat dicapai dengan cara-cara :

1. Daya output yang tinggi membutuhkan :
 - a. Rasio kompresi yang tinggi
 - b. Sedikit atau tanpa udara lebih
 - c. Utilasi sempurna dari udara
 - d. Derajat turbolensi optimum
 - e. Efisiensi volumetris tinggi
2. Thermal efisiensi tinggi
 - a. Rasio kompresi tinggi
 - b. Kehilangan panas sedikit selama pembakaran.
 - c. Pembilasan yang baik dari gas exhaust.
3. Operasi motor yang halus, membutuhkan :
 - a. Laju kenaikan tekanan moderat selama pembakaran.
 - b. Absennya detonasi, ini berarti, ruang bakar kompak, jarak perjalanan api pendek dari spark-api ke titik yang terjauh dr ruang pembakaran. Kantung – kantung penyebab gas stagnan atau terperangkap diusahakan untuk tidak ada.
 - c. Letak busi yang tepat.

2.2.3. Katup (valve)

Katup berfungsi sebagai pintu gerbang pemasukan bahan bakar dan pembuangan gas sisa pembakaran, yang mana waktu pembukaan dan penutupan katup-katup tersebut diatur sesuai dengan prinsip kerja mesin. Kontruksi katup terdiri dari kepala katup (*valvehead*), batang katup (*valve stem*) berbentuk seperti jamur.

Bagian katup yang berhimpit disebut permukaan katup (*valve face*) yang dibuat miring sesuai dengan kemiringan permukaan dudukan katup. Kepala katup atau daun katup, pada katup hisap berdiameter lebih besar dibandingkan dengan katup buang, karena perbedaan tekanan antara gas yang masuk kedalam silinder dan gas yang keluar dari dalam silinder. Katup hisap mengandalkan perbedaan tekanan udara luar dengan penurunan tekanan dalam silinder yang disebabkan

oleh hisapan torak, sedangkan pada katup buang gas bekas pembakaran akan keluar dari silinder dengan tekanan sisa pembakaran sehingga cukup kuat untuk mendorong gas bekas pembakaran keluar dari silinder. Disamping itu juga dimaksudkan agar pemasukan bahan bakar udara lebih sempurna.

2.2.4 Dudukan katup

Dudukan katup berfungsi sebagai tempat dudukan kepala katup. Antara kepala katup dengan dudukan katup harus membuat persinggungan yang rapat agar tidak terjadi kebocoran gas pada saat kompresi atau kerja. Sudut kemiringan persinggungan katup dengan dudukan katup untuk katup masuk dan katup buang adalah 45° , lebar persinggungan katup dengan dudukan katup dimaksudkan agar tekanan katup dan dudukan katup dapat sebesar mungkin, agar persinggungan katup dengan dudukan katup tidak mudah terbakar dan tidak mudah terselip kotoran yang menyebabkan kebocoran gas pada langkah kompresi atau kerja.

2.2.5 Pengantar katup / bos katup

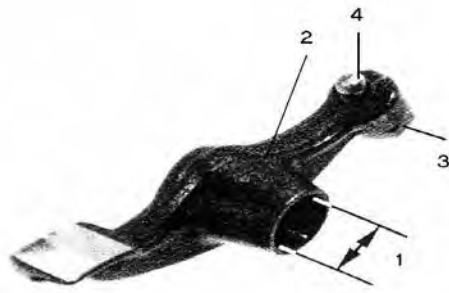
Pemasangan pegas katup belum tentu menjamin katup tersebut akan baik kedudukannya, agar katup dapat stabil pada kedudukannya, baik pada saat menutup ataupun saat membuka, maka katup dilengkapi dengan penghantar katup (*valve guide*) atau bos katup.

2.2.6 Pegas katup

Fungsi dari pegas katup yaitu untuk mengembalikan katup agar tetap dalam keadaan rapat-rapat dalam kedudukannya. Telah diketahui bahwa kerja katup adalah membuka dan menutup disesuaikan dengan langkah torak. Pada saat membuka, katup digerakan oleh sumbu nok dan pada saat menutup katup digerakan oleh pegas katup. Jumlah pegas yang dipasang pada sebuah katup ada yang satu katup dan ada yang dua buah.

2.2.7 *Rocker arm*

Rocker arm dipasang *pad rocker shaft*. Bila *rocker arm* ditekan keatas oleh poros hubungan, katup akan tertekan dan membuka. *Rocker arm* dilengkapi dengan sekrup dan mur pengunci untuk penyetelan katup (gambar 2.4).



Keterangan:

1. Diameter dalam pelatuk
2. Rocker arm
3. Mur pengunci
4. Penyetel katup

Gambar 2.4. *Rock arm*

2.2.8 Poros engkol

Poros engkol berfungsi mengubah gerak torak menjadi gerakan putar dan meneruskan gaya tersebut ke alat pemindah tenaga sampai ke roda.

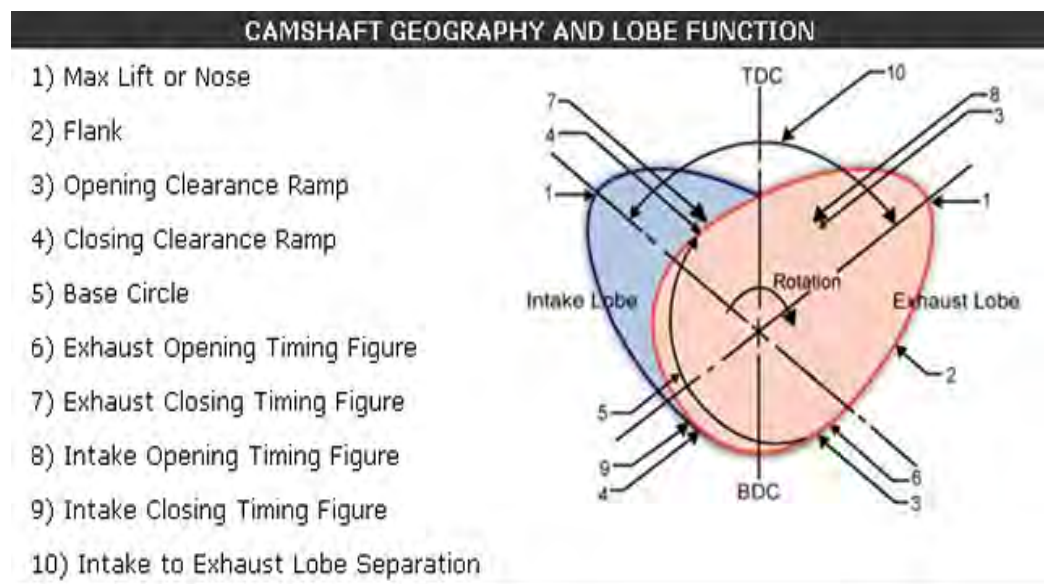
2.3 Cam dan Camshaft

Camshaft atau poros bubungan atau noken as adalah bagian dari motor bensin yang mengatur buka dan tutup katub baik intake ataupun exhaust, serta mengatur seberapa tinggi katub terbuka. Camshaft terbuat dari batangan dengan bagian tengah terdapat tonjolan (lobe) dan pada kedua ujungnya terdapat bearing sebagai tumpuan. Cam membuka katub dengan menekannya, atau bisa juga dengan bantuan mekanisme lain seperti rocker arm atau pelatuk, ketika cam itu berputar. Hubungan antara perputaran camshaft dengan perputaran poros engkol adalah sangat penting. Karena katub sebagai satu-satunya jalan masuknya bahan bakar dan pengeluaran gas sisa pembakaran, sehingga katub atau klep harus dibuka dan ditutup pada saat yg tepat selama langkah hisap (gambar 2.5).

Dalam mesin 4 langkah terdapat 4 langkah penting, yaitu langkah hisap, kompresi, usaha dan buang. Nah katub masuk adalah tempat atau saluran masuknya bahan bakar pada langkah hisap, sedangkan katub buang adalah saluran keluar dari gas sisa pembakaran saat langkah buang. Untuk alasan ini maka camshaft atau noken as harus berhubungan selaras dengan crankshaft atau poros engkol. Baik dengan bantuan rantai mesin, V belt atau bahkan mekanisme gear. Untuk mesin sepeda motor di Indonesia, mayoritas menggunakan mekanisme rantai, baik type standar atau silent chain. Untuk mesin mobil bisa bervariasi mekanismenya, bisa rantai mesin, V belt ataupun gear.

Dalam sebuah mesin 4 langkah, putaran camshaft adalah setengah dari putaran mesin. Artinya jika mesin berputar 1200 rpm, maka camshaft berputar 600 rpm. Itu sebabnya gear rantai mesin yang ada di camshaft berjumlah 2 kali dibanding gear rantai mesin yang ada di crankshaft atau poros engkol.

Pada mesin bensin dikenal dengan istilah SOHC dan DOHC. SOHC adalah single over head camshaft dimana pada silinder head terdapat hanya satu buah camshaft yang mengatur buka tutup katub intake dan juga katub exhaust. Pada system SOHC biasanya terdapat hanya 2 katub yang terdiri satu intake dan satu exhaust, namun adapula yang dilengkapi dengan 4 katub yaitu dua intake dan dua exhaust.



Gambar 2.5. Camshaft dan fungsi lobe

(www.cpgnation.com)

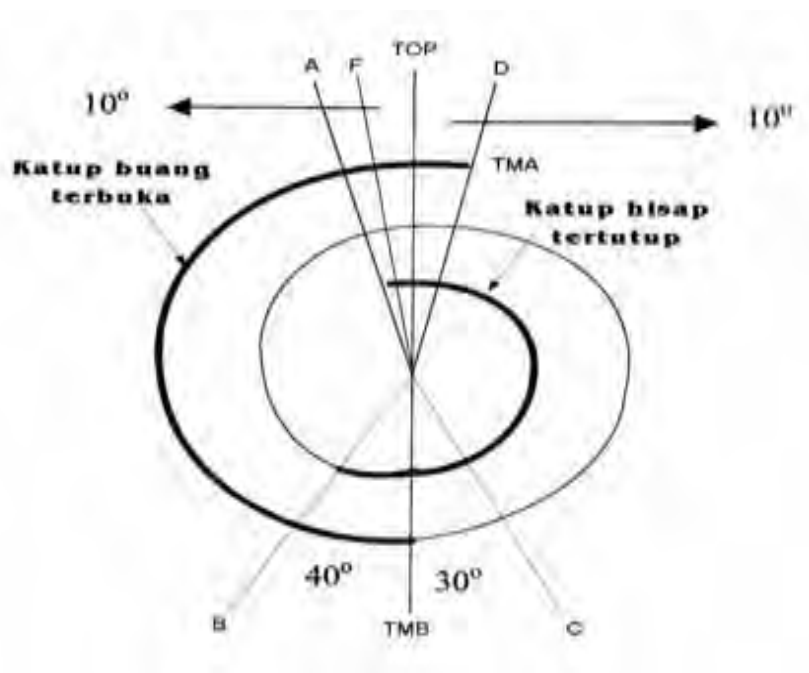
2.4 Timing chain

Timing chain berguna untuk menghubungkan gigi poros engkol dengan gigi camshaft, sehingga putaran poros engkol dapat diteruskan ke camshaft dan terjadilah persesuaian antara gerak naik turunnya piston dengan terbuka dan tertutupnya katup dalam melakukan proses kerja. Roda gigi/sprocket: Roda gigi berfungsi menerima putaran dari gigi poros engkol dan meneruskannya ke camshaft.

2.5 Mekanisme Katup

Mekanisme katup engine dibagi menjadi tipe *Over Head Valve* (OHV), tipe *Over Head Cam shaft* (OHC) dan tipe *Double Over Head Cam shaft* (DOHC). Mekanisme katup yang banyak dipakai yaitu sistem katup kepala atau over head valve (OHV), dan sistem poros nok kepala silinder atau over head cam (OHC). Poros nok pada sistem OHV berada pada blok silinder sehingga untuk menggerakkan katup diperlukan beberapa perantara yaitu tapet (*valve lifter*), batang penumbuk (*push rod*), pelatuk (*rocker arm*) baru sampai pada katup. Sistem OHC terdiri dari dua jenis, yaitu DOHC (*double over head cam*) dan SOHC (*single over head cam*). Pada sistem OHC poros nok langsung ke pelatuk dan diteruskan ke katup atau bahkan ada yang dari poros nok langsung menggerakkan katup tanpa pelatuk. Karena model OHC tidak memerlukan alat bantu, maka motor dengan poros nok pada kepala silinder lebih memungkinkan dipakai pada putaran yang lebih tinggi, disamping itu karena perantaranya tidak banyak maka ketepatan pembukaan dan penutupan katup relatif lebih sempurna dibandingkan dengan poros nok yang berada pada blok silinder.

Berikut ini adalah diagram waktu pembukaan dan penutupan katup masuk dan buang (gambar 2.6) :



Gambar 2.6. Mekanisme Katub

1. Periode A sampai B

Titik A adalah sudut poros engkol 10° sebelum torak mencapai titik mati atas, dimana titik A ini katup hisap membuka, dan titik B adalah sudut poros engkol 40° sesudah torak melewati titik mati bawah, atau titik B ini adalah akhir dari langkah penghisapan bahan bakar, dimana pada titik B inilah katup hisapnya mulai menutup rapat. Jadi langkah penghisapan bahan bakar tidak dimulai dari TMA dan berakhir di TMB, akan tetapi awal langkah hisap dipercepat dan akhir langkah buang diperlambat. Dipercepat pembukaan dan diperlambat pemasukan dimaksudkan agar pemasukan bahan bakar lebih banyak, sehingga tenaga mesin akan bertambah besar.

2. Periode B sampai dengan F

Titik B adalah titik dimana katup menutup rapat, hal ini berarti awal langkah kompresi. Langkah kompresi diakhiri pada titik F, yang mana titik F adalah sudut poros engkol yang berkisar 5° sebelum torak mencapai TMA atau Top. Titik F berarti *firing* (penyalaan), dimana pada titik inilah busi memercikan bunga api untuk membakar bahan bakar yang telah dikompresi. Penyalaan busi berupa derajat sebelum TMA disebabkan bahan bakar yang disemprotkan tidak sekaligus seluruh bahan bakar yang ada dalam ruang bakar terbakar pada detik yang sama, akan tetapi proses penyalaan ini merempet dari elektroda busi ke arah bawah. Adapun kecepatan rembet ini kurang lebih sekitar 200 m/s. Jadi disaat api merembet kebawah, torak naik ke TMA dan pada saat torak naik di Top, bahan bakar telah terbakar secara keseluruhan dan akibatnya akan dihasilkan tekanan gas yang cukup tinggi, sehingga dapat diciptakan tenaga mesin yang maksimal.

3. Periode F sampai dengan Top: Terjadi proses pembakaran bahan bakar.

4. Periode Top sampai dengan C: Terjadi langkah kerja/usaha dimana gas bertekanan tinggi mendorong torak kebawah.

5. Periode C sampai dengan D

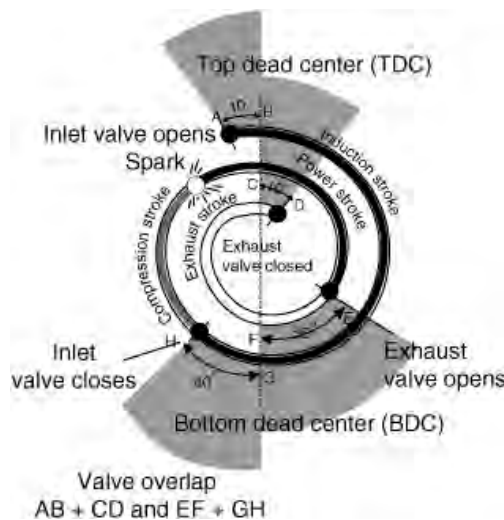
Titik C adalah sudut poros engkol 35° sebelum torak mencapai TMB, pada titik ini katup buangnya mulai membuka. Katup buang dibuka lebih awal dikarenakan bila katup buang dibuka pada saat TMB, berarti mesin akan

mempunyai rugi panas diantara titik C sampai dengan TMB yang akan menyebabkan mesin *over heating* (mesin terlalu panas).

Disamping itu bila katup buang dibuka di TMB, sedangkan torak pada saat yang bersamaan akan melakukan langkah yang tidak menghasilkan tenaga yaitu langkah buang, sudah barang tentu mesin akan sedikit berat untuk mendorong torak keatas guna melaksanakan langkah buang, karena pada lubang silinder tersebut masih ada tekanan gas. Hal ini berarti akan mengurangi kelancaran kerja mesin. Titik D adalah titik dimana katup buangnya mulai menutup, posisi titik D pada poros engkol 10° sesudah torak melalui TMA. Langkah buang sedikit diperpanjang guna untuk menyempurnakan proses pembakaran.

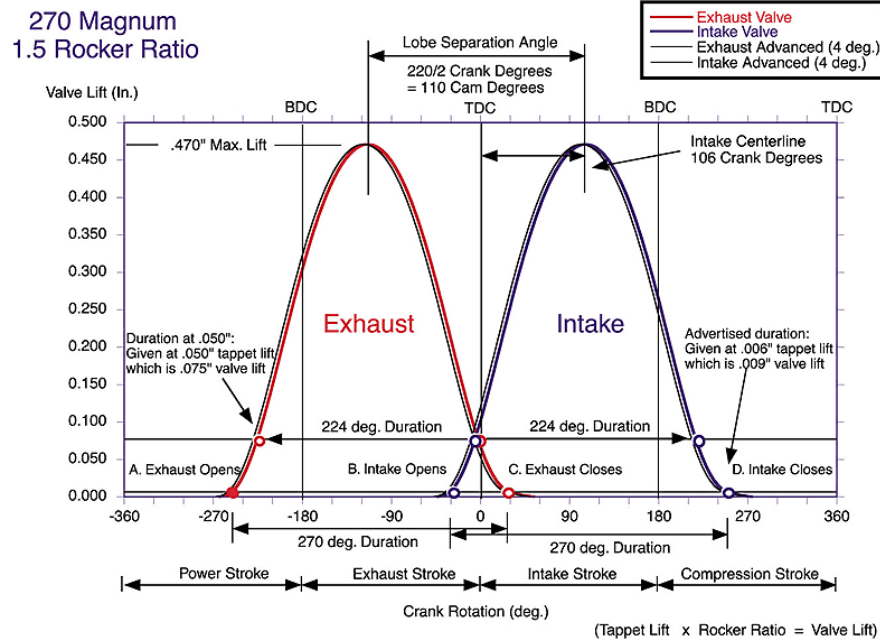
2.5.1 Overlapping

Overlapping adalah kondisi dimana katub intake dan katub exhaust sama-sama terbuka. Kondisi ini terbentuk saat katub exhaust hendak menutup beberapa derajat setelah TMA di barengi dengan katub intake yang mulai membuka beberapa derajat sebelum TMA. Overlapping ini dapat membantu dalam menaikkan performa mesin serta dapat membantu menaikkan efisiensi volumetric bahan bakar yang masuk ke ruang bakar (gambar 2.7 dan 2.8).



Gambar 2.7. Valve overlap

(www.answer.com)



Gambar 2.8 diagram lift- θ buka tutup katup
(www.3.7mustang.com/valvetimingillustration-002.gif)

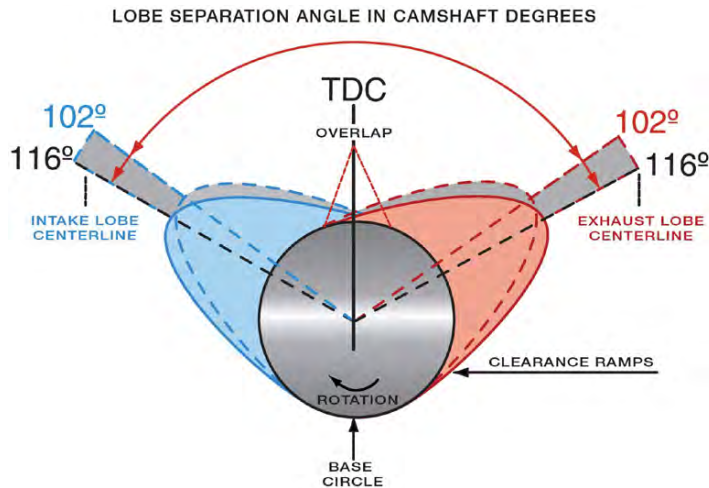
Campuran bahan bakar yang masuk melalui katub intake akan membantu proses pembilasan gas sisa pembakaran keluar melewati katub exhaust menuju knalpot. Namun overlapping yang terlalu besar juga dapat mengurangi performa motor akibat bahan bakar yang masuk ikut terdorong keluar ke knalpot.

2.5.2 Lobe Separation Angle (LSA)

Lobe separation angle (LSA) adalah derajat antara titik tengah nok atau lobe in atau bubungan intake dengan titik tengah lobe ex atau bubungan exhaust. Makin rendah LSA makin besar derajat overlapping, sedangkan makin besar LSA semakin kecil derajat overlapping. jika tidak ada perubahan durasi, maka memperbesar LSA sama dengan memperkecil overlap, begitu sebaliknya (gambar 2.9).

Untuk menghitung LSA menggunakan rumusan :

$$LSA = \frac{\left(\left(\frac{\text{durasi in}}{2} - \text{bukaan in}\right) + \left(\frac{\text{durasi exhaust}}{2}\right) - \text{durasi exhaust}\right)}{2} \quad (2.1)$$



Gambar 2.9. Lobe Separation Angle

(www.carttechbooks.com)

2.6 Variable Valve Timing

Adalah suatu system dimana derajat buka tutup katub dapat divariasikan baik maju ataupun mundur, umumnya VVT memvariasikan buka tutup intake saja, namun teknologi terbaru pabrikan mesin juga memvariasikan buka tutup exhaust serta tinggi klep (valve lift) juga di variasikan.

Valve timing adalah waktu saat membuka dan menutupnya intake dan exhaust valve. Masing – masing mengidikasikan kapan mulai membuka dan kapan mulai menutup. Standar waktunya diatur oleh sudut putaran crankshaft pada titik piston paling bawah atau paling atas. Katub buang (exhaust valve) akan membuka ketika piston berada pada posisi titil mati bawah (TMB). Setelah mengeluarkan gas, ketika piston berada di titik mati atas (TMA), katub buang (exhaust valve) akan menutup. Pada saat yang bersamaan katub hisap akan membuka untuk mengambil campuran bahan bakar. Hal ini adalah konsep kerja dari katub. Campuran bahan bakar dan gas pembakaran mempunyai berat jenis sehingga alirannya tidak sempurna hanya dalam jangka waktu sesaat saja, namun membutuhkan jangka waktu tertentu.

Katub hisap membutuhkan waktu untuk membuka dengan sempurna dan campuran bahan bakar tidak langsung dapat masuk ke dalam silinder diakibatkan adanya gaya inertia dari aliran. Oleh karena itu katub hisap seharusnya membuka

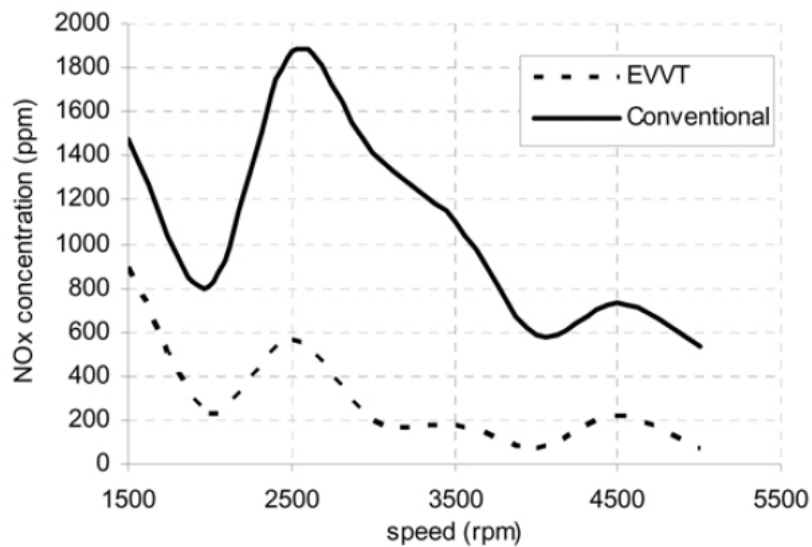
terlebih dahulu beberapa saat sebelum TMA dan menutup beberapa saat setelah TMB.

Diakhir langkah pembakaran, katub buang akan membuka lebih cepat sebelum mencapai TMB. Hal ini bertujuan untuk mengeluarkan gas buang secepat mungkin dengan memanfaatkan gaya balik dalam silinder. Begitupun pada saat menutup, katub buang akan menutup beberapa saat setelah TMA .

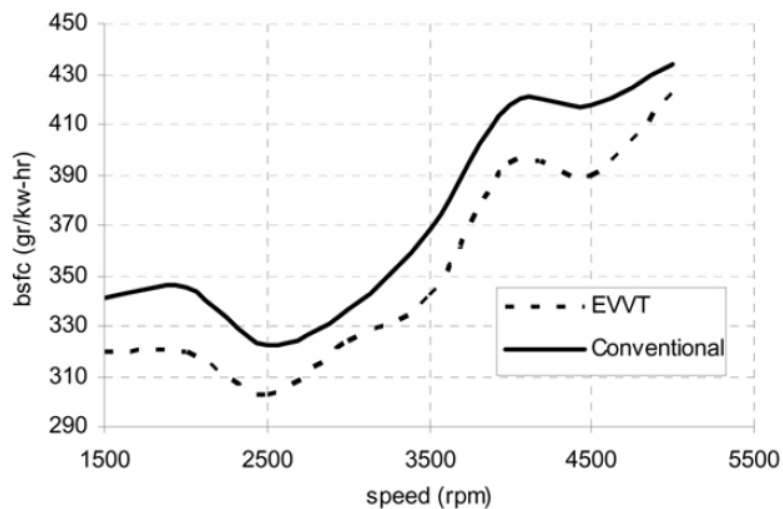
Eksperimen yang dilakukan oleh **Sher dan Bar-Kohany (2002)** mengenai Optimization of variable valve timing for maximizing performance of an unthrottled SI engine—a theoretical study membahas mengenai pengaruh variasi buka tutup katub buang yang menggunakan variable valve timing dan yang tidak menggunakan variable valve timing. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya penurunan emisi gas buang CO sebesar 20,85 tanpa VVT dan dengan VVT didapatkan penurunan CO sebesar 43,5%. Co yang semakin kecil menandakan bahwa bahan bakar yang digunakan semakin irit. Emisi gas buang CO₂ mengalami kenaikan sebesar 19,4% dengan VVT dan 5,6% bila tanpa VVT. Hal ini menunjukkan adanya penurunan emisi gas buang CO₂ yang menandakan bahwa pembakaran yang terjadi semakin sempurna. Sedangkan emisi gas buang HC mengalami penurunan sebesar 45,5% dengan VVT dan tanpa VVT sebesar 43,4%, yang berarti ada penurunan emisi gas buang HC. Dengan semakin kecilnya kandungan HC pada gas buang menandakan bahwa pembakaran di ruang bakar makin sempurna.

Pourkhesalian dkk (2010), dalam eksperimennya yang berjudul “NOx Control Using Variable Exhaust Valve Timing and Duration” mengemukakan bahwa untuk mengurangi kadar NO_x dalam emisi gas buang dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menggunakan IGR (Internal Resirkulasi Gas Buang) dan dengan variable valve timing. Dengan menggunakan VVT dapat mengoptimalkan kinerja dan menurunkan emisi gas buang dari internal combustion engine. Hal ini dapat digunakan untuk katub baik intake maupun exhaust untuk mengontrol aliran gas ke dalam ataupun keluar dari silinder. Selain itu juga VVT dapat digunakan untuk memaksimalkan efisiensi volumetrik pada kecepatan tinggi atau dapat di gunakan untuk mengontrol fraksi massa gas

siswa untuk mengurangi pembentukan NO_x dan mengurangi konsumsi bahan bakar. Spesifik



Gambar 2.10. Pengaruh mekanisme EVVT terhadap konsentrasi NO_x [1]

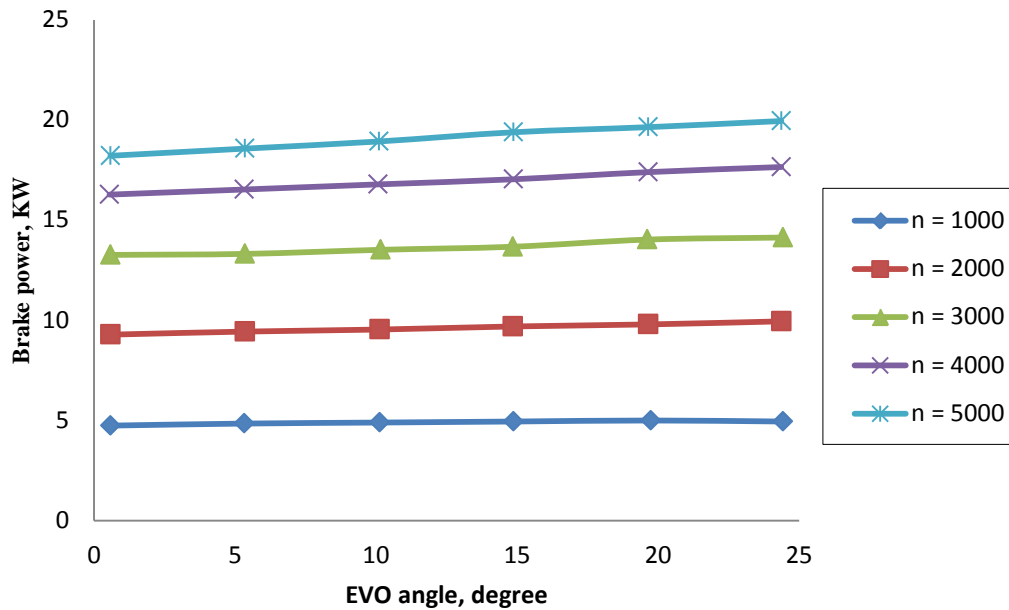


Gambar 2.11. Pengaruh mekanisme EVVT terhadap bsfc [1]

Dari gambar 2.10 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan variable valve timing (VVT) maka terjadi penurunan kadar NO_x sebesar 71% . Sedangkan pada gambar 2.11 dapat dilihat bahwa penggunaan variable valve timing (VVT) dapat menurunkan brake specific fuel consumption (bsfc) sebesar 6% .

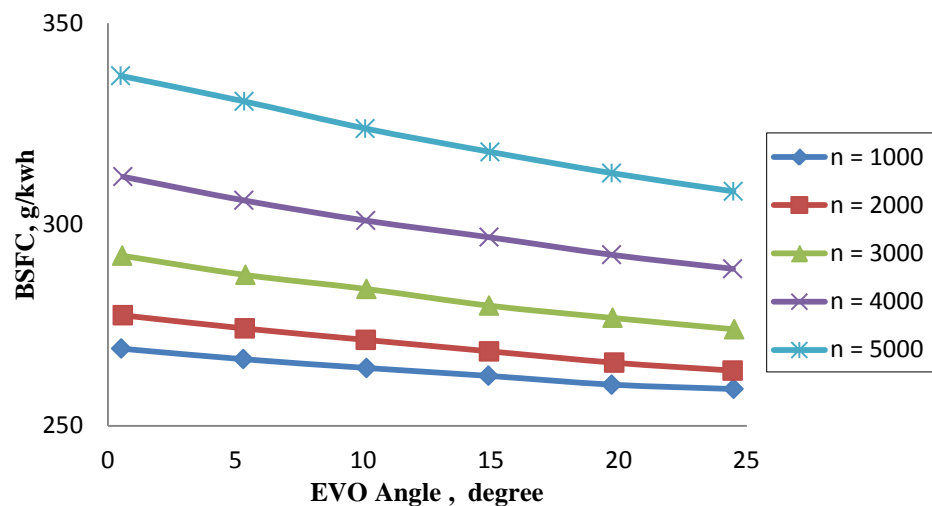
Ghazal dkk (2013) dalam eksperimennya melakukan variasi pada katub buang (*exhaust valve*) terbuka pada durasi 0° sampai 25° sebelum titik mati

bawah (TMB) dan menutup dengan durasi 0^0 sampai 60^0 setelah titik mati atas (TMA) dengan variasi putaran dari 1000 – 5000 rpm.



Gambar 2.12. Daya terhadap derajat EVO (Exhaust Valve Open) untuk kecepatan yang berbeda [7]

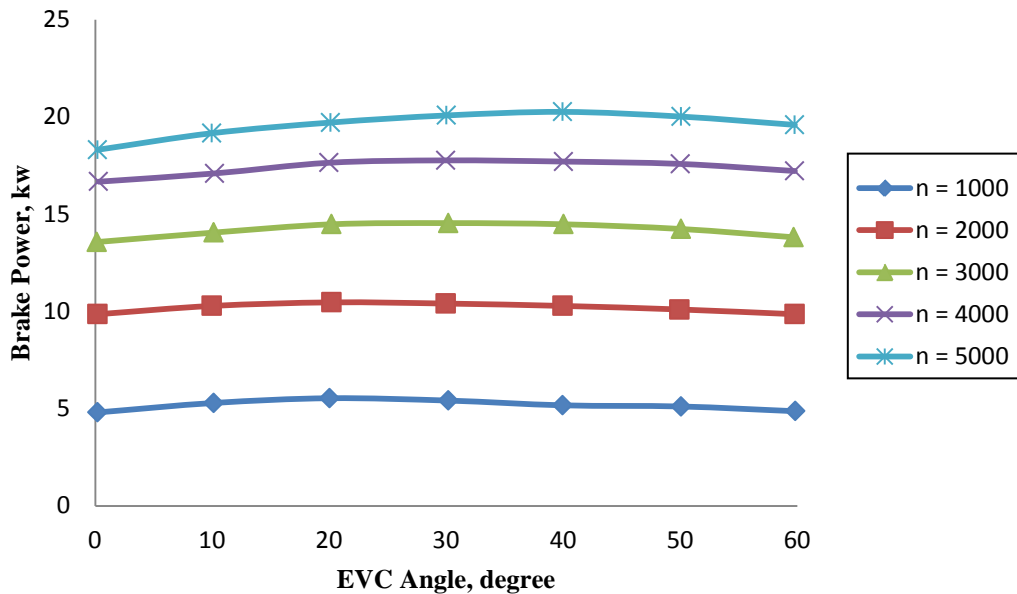
Dari gambar 2.12 dapat dilihat bahwa semakin besar derajat bukaan katub buang maka ada peningkatan daya terutama pada kecepatan tinggi. Untuk putaran rendah tidak terlalu signifikan kenaikannya.



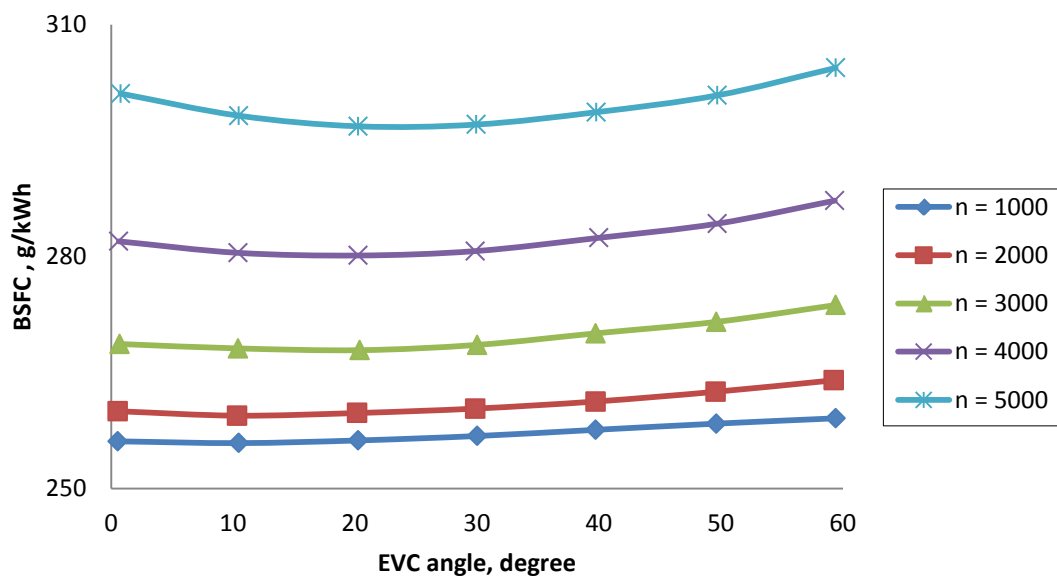
Gambar 2.13. BSfc terhadap derajat EVO (Exhaust Valve Open) untuk kecepatan yang berbeda [7]

Gambar 2.13 menunjukkan bahwa variasi dari bukaan katub buang mempengaruhi dari konsumsi bahan bakar spesifik. Semakin besar bukaan katubnya maka semakin rendah konsumsi bahan bakarnya.

Untuk penutupan katub buang, semakin besar derajat bukaan katubnya memang ada peningkatan daya sampai pada derajat 25^0 setelah TMA namun kemudian menurun seiring bertambahnya derajat bukaan katub (gambar 2.14).



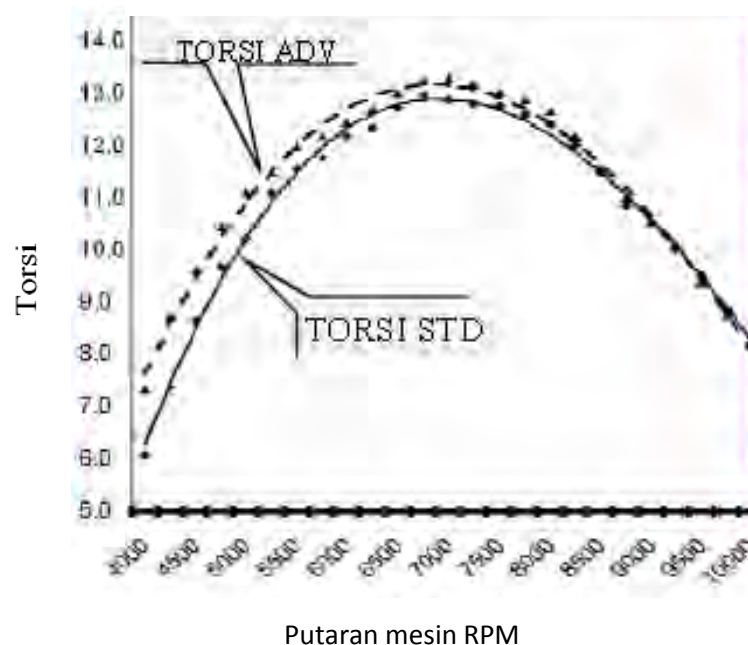
Gambar 2.14. Daya terhadap derajat EVC (Exhaust Valve Close) untuk kecepatan yang berbeda [7]



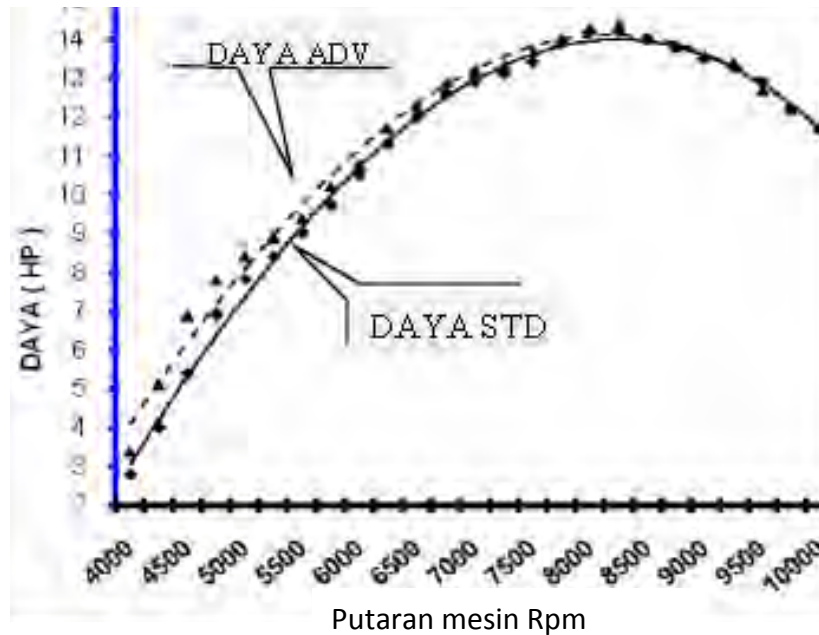
Gambar 2.15. BSfc terhadap derajat EVC (Exhaust Valve Close) untuk kecepatan yang berbeda [7]

Untuk konsumsi bahan bakar spesifik pada penutupan katub buang dapat dilihat pada gambar 2.15 yang mana pada putaran rendah konsumsi bahan bakar spesifik tidak terlalu berpengaruh. Namun pada putaran tinggi sangat berpengaruh.

Setiyo dan Condro (2010), dalam eksprimennya menyatakan bahwa dengan memajukan valve timing sebesar 10^0 , terjadi peningkatan volume silinder aktual dari 145,97 cc menjadi 151,27 cc, sehingga perbandingan kompresi aktual naik dari 8,45 : 1 menjadi 8,72 : 1. Selain itu juga terjadi peningkatan pada unjuk kerja mesin yaitu dengan peningkatan torsi rata – rata sebesar 3,55% dan peningkatan daya rata – rata sebesar 3,14%. Hal ini dapat di lihat pada gambar 2.16 dan gambar 2.17.

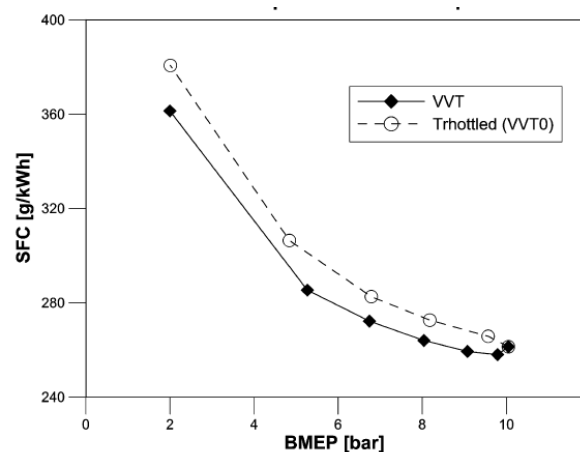


Gambar 2.16. Grafik perbandingan torsi terhadap putaran mesin [8]



Gambar 2.17. Grafik perbandingan daya terhadap putaran [8]

Fontana dan Galloni (2008) juga telah melakukan penelitian mengenai variable valve timing. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa dengan menerapkan aplikasi variable valve timing (VVT) akan menurunkan pemakaian bahan bakar spesifik (bsfc), hal ini dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Grafik bmep terhadap sfc [4]

2.7 Parameter Unjuk Kerja

Baik atau tidaknya suatu desain engine dapat dilihat melalui unjuk kerja (*performance*) yang dihasilkannya. Pengujian suatu engine ditentukan oleh beberapa parameter unjuk kerja engine dan kadar emisi gas buang hasil pembakaran. Unjuk kerja menjadi penting karena berkaitan dengan tujuan

penggunaan *engine* dan faktor ekonomisnya sedangkan tinggi rendahnya emisi gas buang berhubungan dengan faktor lingkungan. Untuk menentukan parameter unjuk kerja *engine* maka harus ditentukan terlebih dahulu sistem yang digunakan. Berikut sistem yang digunakan untuk pengujian ini.

Adapun parameter-parameter dari unjuk kerja tersebut adalah sebagai berikut :

1. Torsi.
2. Daya efektif.
3. Tekanan efektif rata-rata (bmep).
4. Pemakaian bahan bakar spesifik (sfc).
5. Effisiensi thermal.
6. Emisi gas buang

2.7.1 Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan engine untuk menghasilkan kerja. Dan didalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk akselerasi kendaraan untuk mendapatkan kecepatan tinggi. Torsi adalah hasil perkalian gaya tangensial dengan lengannya sehingga memiliki satuan N.m (SI) atau lb.ft (British).

$$\text{Torsi} = P \cdot R \quad (2.2)$$

dimana:

P = Gaya tangensial

R = Lengan gaya water brake

Pada pengujian, torsi yang dihasilkan oleh motor dibaca pada *display waterbrake dynamometer*. Torsi yang didapatkan masih dalam lbf ft sehingga diperlukan faktor konversi agar didapatkan nilai torsi dengan satuan metris. Adapun faktor konversi X yang digunakan adalah

$$X = \text{faktor konversi} \left(\frac{4.448 \text{ N}}{1 \text{ lbf}} \times \frac{1 \text{ m}}{3.2808} \right)$$

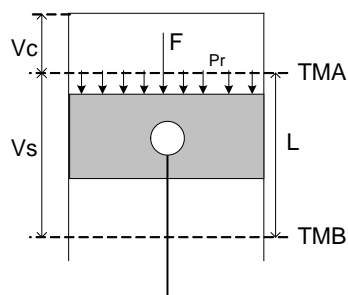
2.7.2 Daya Motor (*brake horse power*)

Daya Motor merupakan daya yang diberikan ke poros penggerak oleh motor per satuan waktu. Besarnya daya motor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{bhp} = T \cdot \omega \quad (\text{Watt}) \quad (2.4)$$

n = putaran poros, rps

Proses pembakaran campuran udara bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut disebut sebagai kerja per siklus per volume langkah piston. Besarnya bmep dapat diturunkan sebagai berikut :



Jika poros engkol berputar n rpm, maka dalam 1

$$\text{Daya motor sejumlah "i" silinder : } N = \frac{\text{Pr. A. L. n. i}}{z} \quad 2.6$$

i = Jumlah silinder

n = Putaran mesin, rps

z = 1 (motor 2 langkah) atau 2 (motor 4 langkah)

2.7.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*)

Merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu engine, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga.

Besarnya *Specific Fuel Consumption* dapat dihitung dengan persamaan :

$$sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{bhp} \quad (2.8)$$

dimana:

\dot{m}_{bb} = laju aliran massa bahan bakar , kg/s

bhp = Daya motor, Watt

Pada pengujian standar, massa bahan bakar dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$m_{bb} = \rho_{bensin} \cdot \text{Volume} \quad (2.9)$$

dimana:

$$\rho_{bensin} = SG_{bensin} \cdot \rho_{H_2O} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{Volume} = (m^3)$$

2.7.5. Efisiensi Thermal

Effisiensi thermal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor.

$$\eta_{th} = \left[\frac{\text{Energi yang berguna}}{\text{Energi yang diberikan}} \right] \times 100\% \quad (2.10)$$

Jika masing-masing dibagi dengan waktu, t maka:

$$\eta_{th} = \frac{\left(\frac{\text{kerja}}{\text{waktu}} \right)}{\left(\frac{\text{panas yang diberikan}}{\text{waktu}} \right)} \times 100\% \quad (2.11)$$

dimana:

$$\frac{\text{kerja}}{\text{waktu}} = \text{daya (bhp)}$$

$$\text{panas yang diberikan} = \text{nilai kalor} \cdot \text{massa bahan bakar} = Q \times \dot{m}_{bb}$$

$$\text{sehingga } \eta_{th} = \frac{bhp}{\dot{m}_{bb} \times Q} \quad (2.12)$$

Dimana :

sfc = konsumsi bahan bakar spesifik, $\frac{\text{kg}}{\text{Watt s}}$

\dot{m}_{bb} = laju aliran massa bahan bakar, $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$

Q = nilai kalor bawah dari bensin yang dipakai, $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Pada penelitian yang dilakukan oleh **Masi dkk**, (2009), “*experimental analysis of a motorbike high speed racing engine*”, data konsumsi bahan bakar diambil menggunakan roller chasis dyno dengan cara menahan throttle gas pada rpm yang ingin dicari, kemudian menahan 10 sampai 12 detik. Hal ini dilakukan sebanyak 3 kali untuk menjaga keakuratan data yang diambil.

Hal ini juga dilakukan oleh **Fontana** (2008) dari University of Cassino, Italy 2008, dengan judul “*variable valve timing for fuel economy improvement in a small spark-ignition engine*” dimana data *specific fuel consumption* diambil dengan chasis inersia dyno dengan *partial load throttle*.

2.7.6 Emisi Gas Buang

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori polutan dibedakan menjadi polutan primer atau sekunder.

- ~ Polutan primer seperti nitrogen oksida (NO_x) dan hidrokarbon (HC), langsung dibuangkan ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan.
- ~ Polutan sekunder seperti ozon (O₃) dan peroksiasetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

1. Komposisi Kimia

Polutan dibedakan menjadi organik dan inorganik. Polutan organik mengandung karbon dan hidrogen, juga beberapa elemen seperti oksigen, nitrogen, sulfur atau fosfor, contohnya : Hidrokarbon, keton, alkohol, ester dan lain-lain. Polutan inorganik seperti : karbon monoksida (CO), karbonat, nitrogen oksida, ozon dan lainnya.

2. Bahan Penyusun

Polutan dibedakan menjadi partikulat atau gas. Partikulat dibagi menjadi padatan dan cairan seperti: debu, asap, abu, kabut dan spray, partikulat dapat bertahan di atmosfer. Sedangkan polutan berupa gas tidak bertahan di atmosfer dan bercampur dengan udara bebas.

a. Partikulat

Polutan partikulat yang berasal dari kendaraan bermotor umumnya merupakan fasa padat yang terdispersi dalam udara dan membentuk asap. Fasa padatan tersebut berasal dari pembakaran tak sempurna bahan bakar dengan udara, sehingga terjadi tingkat ketebalan asap yang tinggi. Selain itu partikulat juga mengandung timbal yang merupakan bahan aditif untuk meningkatkan kinerja pembakaran bahan bakar pada mesin kendaraan. Apabila butir-butir bahan bakar yang terjadi pada penyemprotan ke dalam silinder motor terlalu besar atau apabila butir-butir berkumpul menjadi satu, maka akan terjadi dekomposisi yang menyebabkan terbentuknya karbon-karbon padat atau angus. Hal ini disebabkan karena pemanasan udara yang bertemperatur tinggi, tetapi penguapan dan pencampuran bahan bakar dengan udara yang ada di dalam silinder tidak dapat berlangsung sempurna, terutama pada saat-saat dimana terlalu banyak bahan bakar disemprotkan yaitu pada waktu daya motor akan diperbesar, misalnya untuk akselerasi, maka terjadinya angus itu tidak dapat dihindarkan. Jika angus yang terjadi itu terlalu banyak, maka gas buang yang keluar dari gas buang motor akan berwarna hitam.

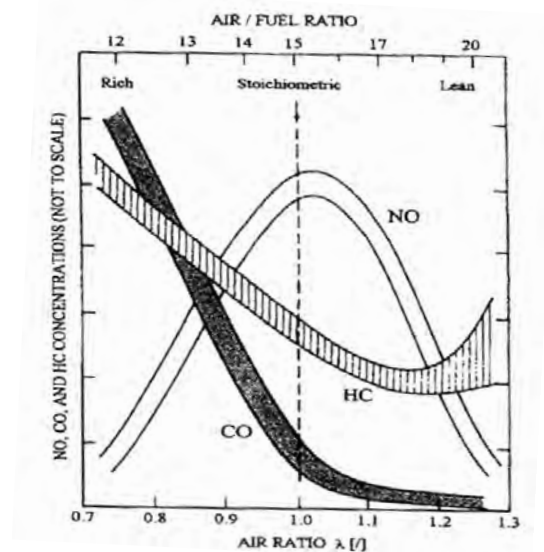
b. Unburned Hydrocarbon (UHC)

Hidrokarbon yang tidak terbakar dapat terbentuk tidak hanya karena campuran udara bahan bakar yang gemuk, tetapi bisa saja pada campuran kurus bila suhu pembakarannya rendah dan lambat serta bagian dari dinding ruang pembakarannya yang dingin dan agak besar. Motor memancarkan banyak hidrokarbon kalau baru saja dihidupkan atau berputar bebas (idle) atau waktu pemanasan. Pemanasan dari udara yang masuk dengan menggunakan gas buang meningkatkan penguapan dari bahan bakar dan mencegah pemancaran hidrokarbon. Jumlah hidrokarbon tertentu selalu ada dalam penguapan bahan bakar, di tangki bahan bakar dan dari kebocoran gas yang melalui celah antara

silinder dari torak masuk kedalam poros engkol yang disebut dengan blow by gasses (gas lalu). Pembakaran tak sempurna pada kendaraan juga menghasilkan gas buang yang mengandung hidrokarbon. Hal ini pada motor diesel terutama disebabkan oleh campuran lokal udara bahan bakar tidak dapat mencapai batas mampu bakar.

c. Carbon Monoksida (CO)

Karbon dan Oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO₂) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Gas ini akan dihasilkan bila karbon yang terdapat dalam bahan bakar (kira-kira 85 % dari berat dan sisanya hidrogen) terbakar tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Hal ini terjadi bila campuran udara bahan bakar lebih gemuk dari pada campuran stoikiometris dan terjadi selama idling pada beban rendah atau pada output maksimum. Karbon monoksida tidak dapat dihilangkan jika campuran udara bahan bakar gemuk. Bila campuran kurus karbon monoksida tidak terbentuk oksigen (O₂). Oksigen (O₂) sangat berperan dalam proses pembakaran, dimana oksigen tersebut akan diinjeksikan keruang bakar. Dengan tekanan yang sesuai akan mengakibatkan terjadinya pembakaran bahan bakar.



Gambar 2.19. Tipikal kurva ketiga polutan utama yang dihasilkan motor pembakaran dalam (Kawano, 2012).

2.8. Dynamometer

Adalah suatu mesin yang digunakan untuk mengukur torsi (torque) dan kecepatan putaran (rpm) dari tenaga yang diproduksi oleh suatu mesin, motor atau penggerak berputar lain. Dynamometer dapat juga digunakan untuk menentukan tenaga dan torsi yang diperlukan untuk mengoperasikan suatu mesin. Dalam hal ini, maka diperlukan dynamometer. Dynamometer yang dirancang untuk dikemudikan disebut dynamometer absorbs/ penyerap atau dynamometer pasif. Dynamometer yang dapat digunakan, baik penggerak maupun penyerap tenaga disebut dynamometer aktif atau universal.

Sebagai tambahan untuk digunakan dalam menentukan torsi atau karakteristik tenaga dari mesin dalam test/Machine Under Test. Dynamometer juga mempunyai peran lain. Dalam siklus standar uji emisi, seperti yang digambarkan oleh US Environmental Protection Agency (US EPA), dynamometer digunakan untuk membuat simulasi jalan baik untuk mesin atau kendaraan secara penuh (dengan menggunakan dynamometer chasis). Sebenarnya, diluar penukaran torsi dan power yang sederhana, dynamometer dapat digunakan sebagai again dari pengujian untuk berbagai aktifitas pengembangan mesin seperti kalibrasi pengontrol manajemen mesin, pengembangan system pembakaran dsb.

2.8.1 Prinsip Operasi

Dynamometer absorb bertindak sebagai pemberi beban yang digerakkan oleh mesin pada saat pengujian. Dynamometer harus mampu beroperasi pada kecepatan yang bervariasi dan member beban pada mesin tersebut pada tingkatan torsi yang bervariasi pula selama pengujian berlangsung. Dynamometer pada umumnya dilengkapi dengan beberapa cara pengukuran torsi dan kecepatan.

Dynamometer harus dapat menyerap tenaga yang dikeluarkan oleh mesin. Tenaga yang diserap oleh dynamometer harus dapat diteruskan ke udara sekitar atau mentransfer ke air pendingin. Dynamometer regenerative memindahkan tenaga ke bentuk daya listrik.

Dynamometer dapat dilengkapi dengan berbagai system control. Jika dynamometer mempunyai regulator torsi, itu beroperasi pada penyetel torsi pada saat mesin beroperasi pada kecepatan apapun., hal itu dapat dicapai selama pengembangan torsi yang telah ditentukan sebelumnya. Jika dynamometer

mempunyai regulator kecepatan, maka dapat diketahui besar torsi yang diperlukan menggerakkan mesin pada kecepatan yang telah ditentukan sebelumnya.

Dynamometer motor bertindak sebagai penggerak dari peralatan yang akan diuji. Maka dynamometer harus dapat menggerakkan peralatan pada kecepatan dan tingkatan torsi yang bervariasi selama pengujian yang berlangsung. Hanya torsi dan kecepatan yang dapat diukur. Untuk mengetahui besar dari tenaga mesin, harus dihitung menurut besarnya torsi dan kecepatan mesin menurut rumusan sebagai berikut :

2.8.2 Tipe Dynamometer

Sebagai tambahan terhadap penggolongan absorbs, penggerak atau universal seperti diuraikan diatas, dynamometer dapat digolongkan cara-cara lain :

Dynamometer yang dapat mengukur tenaga putar dan power secara langsung dari unit pemindah tenaga dari kendaraan secara langsung roda penggerak (tanpa memindahkan mesin dari chasis kendaraan) disebut dynamometer chasis.

Dynamometer dapat juga digolongkan oleh jenis unit absorbs atau absorber /driver yang digunakan. Berikut ini adalah absorbtion/ driver unit yang telah banyak digunakan.

Tipe dari unit absorption/driver :

- Eddy current atau electromagnetic brake (absorbsion only)
- Electric motor/ generator (absorb or drive)
- Fan brake (absorption only)
- Hydraulic brake (absorption only)
- Mechanical friction brake atau prony brake (absorption only)
- Water brake (absorption only)

2.8.3 Bagaimana dynamometer digunakan untuk menguji mesin ?

Dynamometer sangat berguna dalam pengembangan dan perbaikan teknologi mesin modern pada saat ini. Konsepnya adalah untuk menggunakan dynamometer untuk mengukur dan membandingkan pemindahan tenaga pada poin yang berbeda dari suatu kendaraan, sehingga mesin atau komponen pemindah tenaga dapat dimodifikasi untuk menghasilkan pemindahan tenaga yang

lebih baik. Sebagai contoh, jika sebuah mesin menunjukkan fakta bahwa suatu mesin dapat mencapai torsi 400N.m (300 lbf.ft) dan pada chasis dynamometer hanya menunjukkan hanya 350N.m (260 lbf.ft), jika engine dynamometer dapat menunjukkan torsi yang demikian dan chasis dynamometer hanya menunjukkan kurang dari kemampuan mesin yang sebenarnya, maka komponen pemindah tenaga perlu ditingkatkan atau dikembangkan lebih lanjut.

2.8.4 Metode pengujian secara umum.

Dynamometer menerapkan berbagai macam tingkat pembebanan dan mengukur kemampuan mesin dengan menghilangkan beban. Dynamometer dapat dihubungkan dengan computer yang menghitung besarnya keluaran dari suatu mesin. Mesin berputar dari putaran stasioner hingga putaran maksimum dan output mesin diukur dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Hampir semua aspek operasi mesin diukur selama dynamometer berjalan.

2.8.5 Engine Dynamometer

Engine dynamometer atau dynamometer mesin mengukur power dan torsi langsung dari poros engkol atau roda gila, saat mesin dipindahkan dari kendaraan. Dynamometer jenis ini tidak memperhitungkan kehilangan tenaga pada komponen pemindah tenaga seperti gearbox, transmisi atau differential dan sebagainya.

2.8.6 Chasis Dynamometer

Dynamometer chasis mengukur tenaga melalui permukaan “roller penggerak” yang digerakkan oleh roda kendaraan. Kendaraan biasanya ditempatkan diatas roller penggerak, dimana mobil atau motor dijalankan dan tenaga dapat diukur.

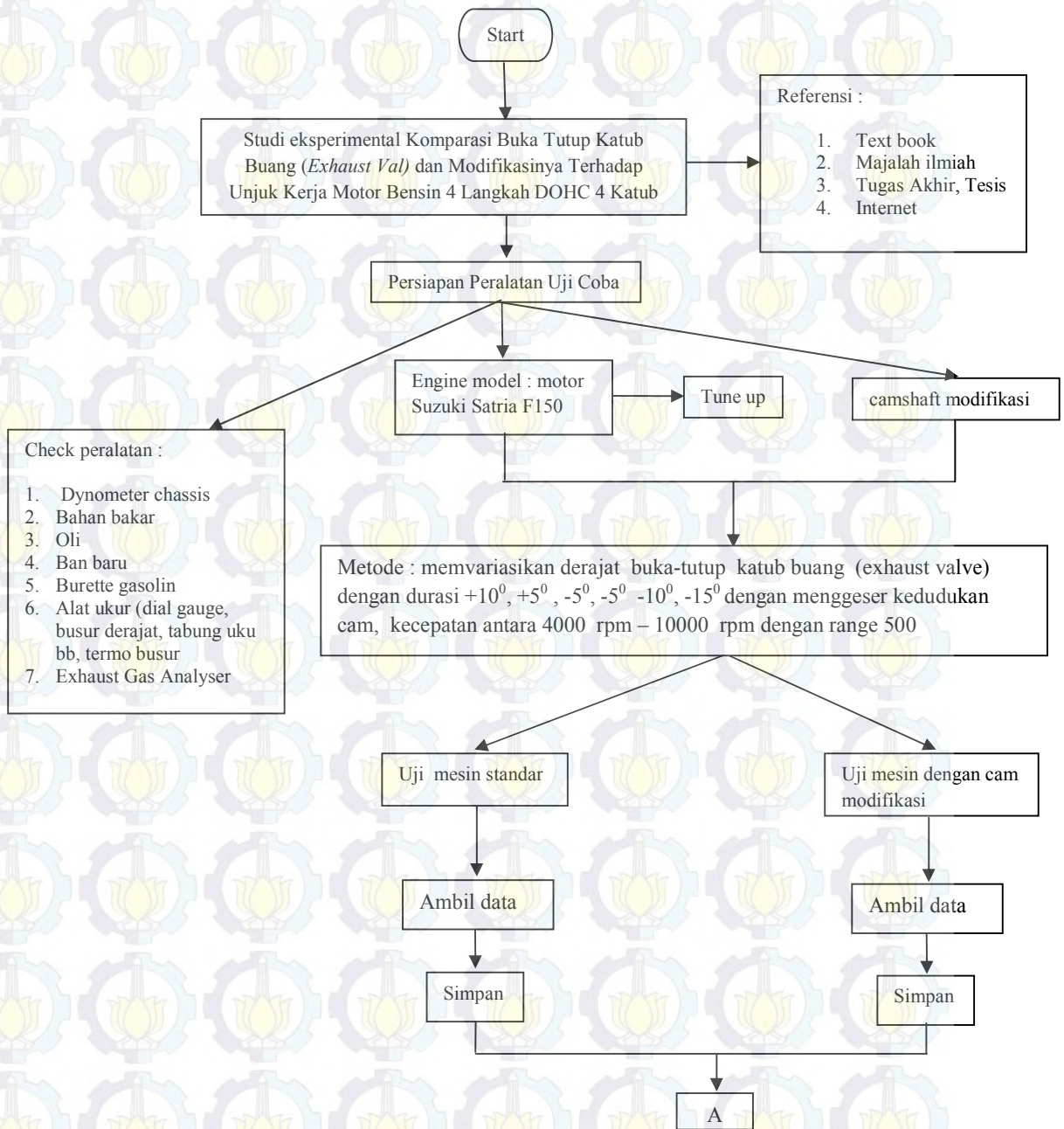
Tipe roller modern dari dynamometer chasis menggunakan roller salviseberg, yang mempunyai transi lebih besar. Dynamometer chasis modern dapat melakukan lebih daripada hanya memunculkan RPM, Horse Power dan Torsi. Dengan system elektronik modern dan reaksi yang cepat, sekarang sangat memungkinkan untuk menentukan power terbaik dan laju yang lebih lembut secara akurat.

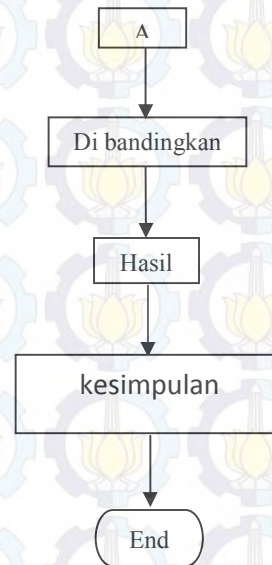
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ditetapkan diawal, hal ini dimaksudkan agar penelitian yang akan dilakukan dapat terarah. Berikut ini menggambarkan diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan.

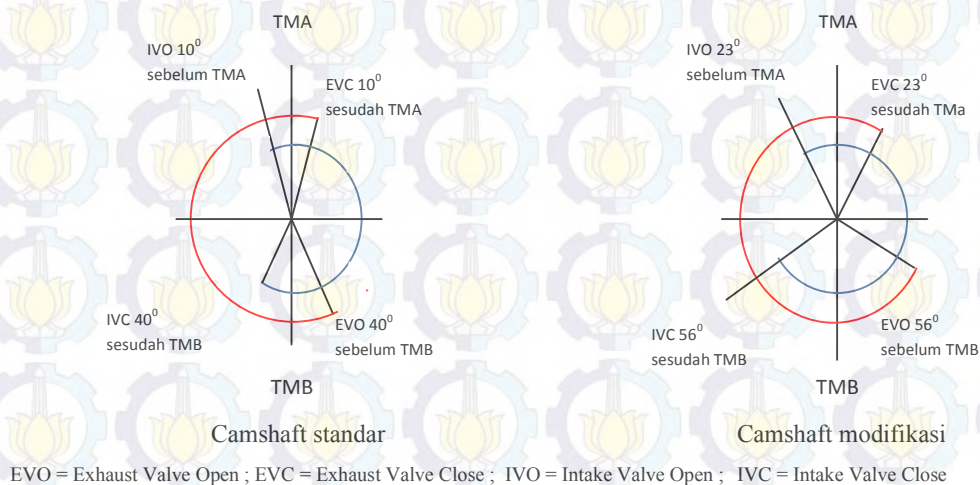
Diagram Alir Eksperimen





3.1. Rancangan dalam Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan penggeser derajat buka tutup katub buang (exhaust valve) melalui *camshaft* standar maju $+5^\circ$, $+10^\circ$, $+15^\circ$ dan mundur -5° , -10° , -15° serta menggeser pula durasi buka tutup katub buang (*exhaust valve*) untuk *camshaft* modifikasi. Variabel pergeseran *camshaft* baik *camshaft* standar maupun *camshaft* modifikasi yaitu kekanan $+5^\circ$, $+10^\circ$, $+15^\circ$ dan kekiri yaitu -5° , -10° , -15° di hitung dari durasi buka tutup katub buang (*exhaust valve*) standar, bukan dari titik nol TMA. Data untuk *camshaft* standar dan *camshaft* modifikasi dapat dilihat pada tabel 3.1. Sedangkan data untuk pergeseran *camshaft* ini dapat dilihat pada tabel 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.1 Diagram katub camshaft standar dan camshaft modifikasi

Tabel 3.1 data buka tutup camshaft exhaust standar dan camshaft modifikasi

Camshaft standar	Intake timing (at 1mm valve lift)	Lift (mm)
Buka / Open	10° sebelum TMA	6,7mm
Tutup / Close	40° sesudah TMB	
Exhaust timing (at 1mm valve lift)		
Buka / Open	40° sebelum TMB	6,3 mm
Tutup / Close	10° sesudah TMA	
Camshaft modifikasi	Intake timing (at 1mm valve lift)	
Buka / Open	23° sebelum TMA	7,6mm
Tutup / Close	56° sesudah TMB	
Exhaust timing (at 1mm valve lift)		
Buka / Open	56° sebelum TMB	7,3 mm
Tutup / Close	23° sebelum TMA	

Tabel 3.2 Data buka tutup katub buang (*exhaust valve*) standar dan pergeserannya

Variabel	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15
Membuka sebelum TMB	55 ⁰	50 ⁰	45 ⁰	40 ⁰	35 ⁰	30 ⁰	25 ⁰
Menutup sesudah TMA	-5 ⁰	0 ⁰	5 ⁰	10 ⁰	15 ⁰	20 ⁰	25 ⁰
Durasi	230	230	230	230	230	230	230

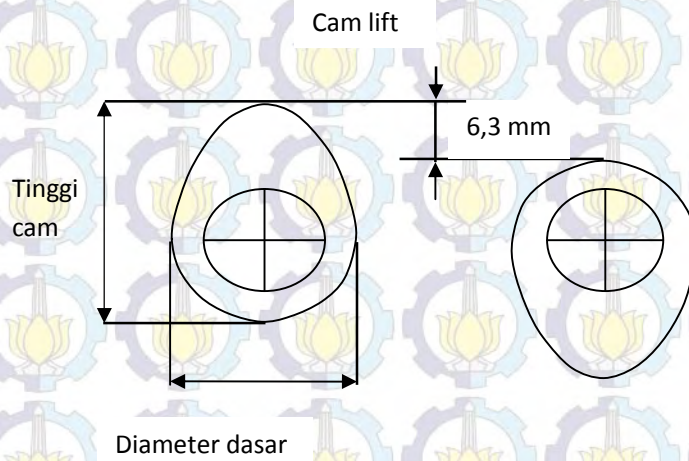
Tabel 3.3 Data buka tutup katub buang (*exhaust valve*) modifikasi dan pergeserannya

Variabel	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15
Buka sebelum TMB	69 ⁰	64 ⁰	61 ⁰	56 ⁰	51 ⁰	46 ⁰	41 ⁰
Tutup sesudah TMA	8 ⁰	13 ⁰	18 ⁰	23 ⁰	28 ⁰	33 ⁰	38 ⁰
Durasi	259	259	259	259	259	259	259

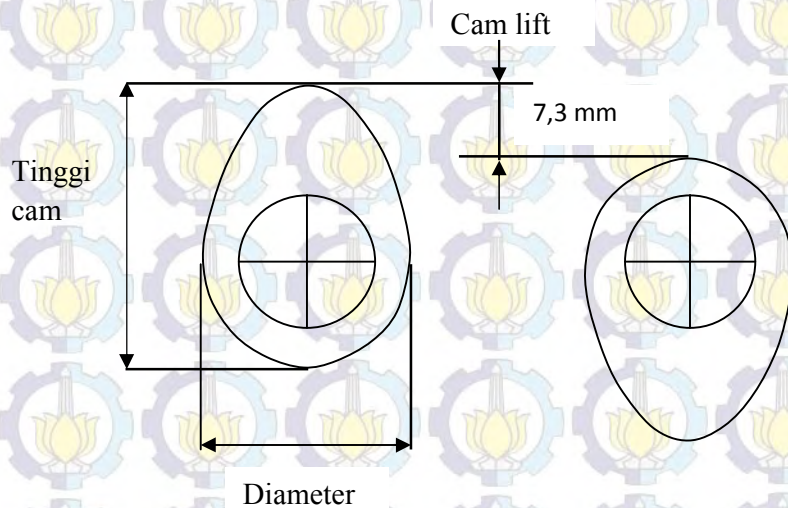
3.2. Camshaft

Dalam eksperimen ini, menggunakan 2 tipe *camshaft*, yaitu 1 set *camshaft* standar pabrik atau bawaan motor yang terdiri dari 1 buah *camshaft intake* dan 1 buah *camshaft exhaust* dan yang kedua adalah 1 set *camshaft* modifikasi yang juga terdiri dari 1 *camshaft intake* modifikasi dan 1 *camshaft exhaust* modifikasi.

Camshaft modifikasi adalah *camshaft* dengan durasi yang lebih besar dan lift atau angkatan klep yang lebih tinggi dari *camshaft* standar (gambar 3.2).



Gambar 3.2 *Camshaft* standar dengan tinggi lift 6.3 mm



Gambar 3.3 *Camshaft* modifikasi dengan tinggi lift 7.3 mm

3.3 Cara pengukuran derajat *camshaft*

Sebelum dilakukan pengujian, dilakukan terlebih dahulu pengukuran awal durasi buka tutup untuk *camshaft* standar menggunakan dial test. Dial test menggunakan alat bantu 2 dial gauge yang terpasang pada stand serta busur derajat yang terpasang pada poros engkol sebagai media membaca derajat engkol. Sesuai dengan buku reparasi suzuki dikatakan bahwa pengukuran derajat buka tutup di ukur pada saat klep terangkat 1mm (at 1mm valve lift). Hal ini dikarenakan pada saat katub atau klep terangkat 1 mm inilah baru terjadi proses isap atau dorong campuran bahan bakar ke dalam ruang silinder.

Dial gauge terpasang pada stand, masing masing dial gauge akan mengukur langsung pembukaan katub. Ketika jarum dial bergerak artinya klep mulai terangkat. Pengukuran di tentukan saat klep terangkat 1mm yang berarti pada saat katub terangkat 1mm barulah terjadi proses hisap campuran bahan bakar ke dalam silinder. Hal ini sesuai dengan buku pedoman reparsi suzuki yang mengatakan bahwa pengukuran derajat buka tutup katub diukur pada saat katub terangkat 1 mm dari klep.



Gambar 3.4 Dial Gauge

Busur derajat terpasang pada poros engkol, ketika poros engkol berputar maka busur juga ikut berputar. Derajat buka tutup dipadukan dengan

penunjukkan jarum dial gauge yang mulai menekan katub. Ketika poros engkol berada pada posisi TMA maka busur derajat juga menunjukkan posisi yang sama. Kemudian magnet di putar berlawanan arah arum jam sampai katub buang mulai membuka hal ini ditunjukkan dengan tertekannya jarum dial gauge yang terpasang pada katub buang. Teruskan putaran magnet hingga katub buang bergerak menutup, baca jarum pada busur derajat pada saat dial gauge terbaca 1 mm.

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari hasil eksperimen. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas atau biasa disebut juga sebagai faktor kontrol merupakan faktor yang dapat dikendalikan dan nilainya dapat ditentukan berdasarkan tujuan dari penelitian yang dilakukan dan pertimbangan yang lain. Faktor kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah derajat bukaan katub buang

2. Variabel Respon

Variabel respon merupakan respon yang akan diamati dalam penelitian. Variabel respon yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. Konsumsi Bahan Bakar
- b. Daya Engine
- c. Torsi Engine
- d. Emisi Gas Buang

3.4 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan secara langsung dengan menggunakan mesin dyno test dimana dengan sekali run pada PC software akan langsung memunculkan data – data hasil pengujian (runing) tersebut. Data-data yang didapatkan dari pengujian tersebut meliputi :

- Power vs Putaran Engine (RPM)
- Torsi vs Putaran Engine (RPM)
- Air Fuel Ratio (AFR) vs Putaran Engine (RPM)
- Specific Fuel Consumption (SFC) vs Putaran Engine (RPM)
- Emisi gas buang

Dari data-data tersebut nantinya akan bisa diolah lagi melalui proses perhitung untuk mendapatkan data yang lebih lengkap agar bisa dibandingkan lebih teliti.

Pengujian ini dilakukan dengan menggeser durasi bukaan katup buang (exhaust valve) standart dan durasi katub buang (exhaust valve) modifikasi dan membandingkannya sehingga di dapatkan derajat bukaan katup buang (exhaust valve) yang menghasilkan performa mesin yang terbaik.

3.4.1 Prosedur Pengujian Performa Mesin

Prosedur pengujian performa mesin dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Melakukan *tune – up* pada sepeda motor yang akan diuji
- Melepaskan cover samping pada sepeda motor
- Menaikkan sepeda motor ke atas chassis dynamometer
- Mengencangkan tali pengikat body sepeda motor
- Menyiapkan peralatan pendukung , yaitu : sensor putaran mesin, *chassis dynamometer, 4 in 1 multi-functi*
- Menghidupkan *software inersia chassis dynamometer*
- Mengisi *software inersia chassis dynamometer*
- Menghidupkan mesin kendaraan sampai temperatur 60°C-70°C.
- Memposisikan gigi transmisi pada kondisi netral dengan putaran idle
- Memasukkan gigi transmisi pada posisi 4 (top gear).
- Menaikkan putaran mesin hingga putaran 3000 rpm sampai roda belakang berputar.
- Tekan tombol *switch* untuk memulai *me-record* data.
- Melakukan akselerasi hingga didapatkan putaran mesin maksimum (10000 rpm).
- Tekan tombol *switch* untuk mengakhiri *record* data.
- Menurunkan putaran mesin hingga putaran idle.
- Mengulangi pengambilan data minimal 3 kali untuk mendapatkan data yang valid.
- Memposisikan transmisi pada posisi netral.
- Pengujian dan pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing kondisi.

- Untuk sesaat mesin dibiarkan pada putaran idle.
- Mesin dimatikan.
- Lakukan prosedur yang sama pada derajat katub yang di variasikan baik katub standar maupun modifikasinya.

3.4.2 Prosedur pengujian emisi gas buang

- Siapkan kendaraan yang akan diuji emisinya.
- Lakukan pengecekan pada pipa gas buang (knalpot). Apabila pipa gas buang/ mufler ”bocor”, maka kendaraan tidak dapat diukur konsentrasi emisi gas buangnya.
- Pastikan tranmisi dalam keadaan netral.
- Pastikan *choke* keadaan dalam tidak bekerja.
- Pastikan kendaraan bekerja pada temperatur kerja
- Pasang temperatur oli, sensor putaran mesin (rpm) pada kendaraan uji.
- Masukkan sensor gas (*gas probe*) kedalam pipa gas buang minimal 30 cm untuk menghindari kesalahan data.
- Tunggu minimal 20 detik sampai data pada layar monitor stabil.
- Cetak (*print*) data hasil pengujian atau catat pada formulir pencatatan data.
- Lakukan prosedur yang sama untuk derajat katub yang di variasikan dan modifikasinya.

3.5 Peralatan dan instrumen Pengujian

Instrumen pengujian atau penelitian adalah alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan data pada peneltian tersebut. Instrumen – instrumen tersebut adalah:

a. Spesifikasi Mesin

Mesin motor yang digunakan adalah mesin motor Suzuki Satria F150

Tipe mesin	: 1 silinder 4 langkah DOHC 4 katub
System pendinginan	: udara SACS
Diameter x Langkah	: 62mm x 48,8mm
Volume langkah	: 147,3cc
Perbandingan kompresi	: 10,2 : 1
Daya maksimum	: 16 Ps - 9500rpm
Torsi maksimum	: 12,7 N.m - 8500rpm

Karburator : Mikuni BS 26mm
System kopling : kopling manual plat majemuk tipe basah
Gigi transmisi : 6 speed bertautan tetap 1-N-2-3-4-5-6
Aki : 12 Volt, 7Ah
Busi : U24 ESR-N : NGK CR8E
System pengapian : CDI DC

b. Dynamometer

Pengujian dilakukan dengan menggunakan Inertia Chassis Dynamometer pada Laboratorium Pengujian Performa Mesin Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT.Unesa dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Nama : Rextor Pro - Dyno
2. Tegangan : 220 V 50/60 Hz
3. Kemampuan : 15 KHz
4. Tipe Sensor : Digital Pick-Up
5. Tipe Input : Logical level (aktif pada tingkat tinggi)
6. Produksi : PT. Rextor Technology Indonesia

c. Exhaust Gas Analyzer

Exhaust gas analyzer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kadar emisi gas buang yang merupakan hasil dari proses pembakaran mesin. Adapun spesifikasinya adalah:

1. Merk : BrainBee
 2. Type : EGS-668
 3. No Seri : 081008000055
 4. Tahun Pembuatan : 2008
 5. Pembuatan : Italia
 6. Waktu Pemanasan : 10 Menit
- *Rentang pengukuran:*
 1. CO : 0 ÷ 9,99 %Vol
 2. CO₂ : 0 ÷ 19,9 % Vol
 3. HC : 0 ÷ 9999 ppm Vol
 4. Lambda (γ) : 0 ÷ 9,99 Vol

d. Stopwatch

Fungsi *stopwatch* sebagai alat bantu dalam menghitung waktu konsumsi bahan bakar pada saat pengujian. Spesifikasi *stopwatch* yang digunakan adalah:

Merk : Seiko

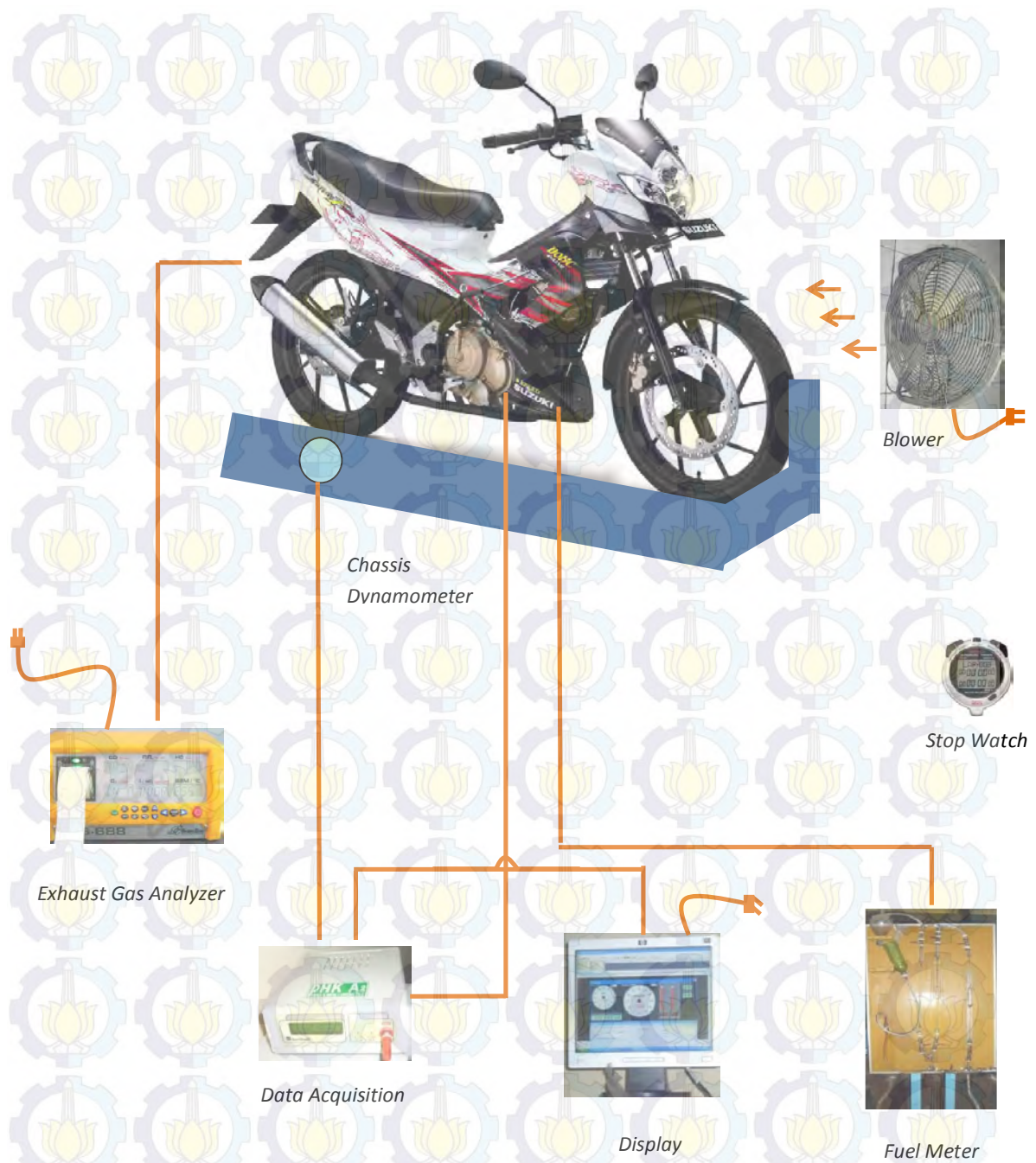
Penunjukan data : Digital

Ketelitian : 0,01 detik

e. Blower

Blower digunakan untuk mendinginkan mesin sewaktu pergantian pengujian. Adapun spesifikasinya adalah:

1. Merk : Krisbow
2. Model : EF- 50 S
3. Power : 200 – 220 V AC ~ 50 Hz 160 watt
4. SNI : 04 – 6292. 2,2 . 80
5. Pilihan : 3 Kecepatan



Gambar 3.5 Skema instrumen penelitian



Gambar 3.6 Posisi motor diatas chasis dynamometer



Gambar 3.7 Pengecekan top mati atas dan top camshaft



Gambar 3.8 Probe gas analyzer



Gambar 3.9 Gas analyzer

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Perhitungan Unjuk Kerja

4.1.1. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc)

Brake Spesifik Fuel Consumption (bsfc) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{H_p} \text{ [pulkrabek,56]}$$

Dimana :

$$\dot{m}_f = \frac{m_{bb}}{s}$$

- $m_{bb} = \rho_{bb} \cdot V$
- m_{bb} = massa bahan bakar (l)
- s = waktu pemakaian bahan bakar (detik)
- ρ_{bb} = densitas = 0,732 (kg/l)
- $V = 10 \text{ ml} = 0,010 \text{ liter}$
- waktu konsumsi bahan bakar = 30,25 detik
- perhitungan ini dilakukan pada putaran 5000 rpm pada camshaft standar cam nol

sehingga

$$\begin{aligned} m_{bb} &= 0,732 \text{ (kg/l)} \times 0,010 \text{ (liter)} \\ &= 0,00732 \text{ (kg)} \\ &= 7,32 \text{ (gr)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_f &= \frac{m_{bb}}{s} \\ &= \frac{0,00732 \text{ (kg)}}{30,25 \text{ (s)}} \\ &= 0,000242 \text{ (kg/s)} \\ &= 0,242 \text{ (gr/s)} \end{aligned}$$

Maka besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$\begin{aligned} \text{Sfc} &= \frac{3600 \frac{\text{detik}}{\text{jam}} \times 0,00242 \text{ kg/s}}{10 \text{ Hp}} \\ &= 0,087 \text{ (kg/hp.jam)} \\ &= 87,12 \text{ (gr/hp.jam)} \end{aligned}$$

4.1.2 Perhitungan Tekanan Effektif Rata-Rata

Tekanan Effektif Rata-Rata (*brake mean efektif pressure*) di cari dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{bmep} = \frac{a \cdot P}{\frac{\pi}{4} D^2 \cdot L \cdot n \cdot i} \text{ (Pa)}$$

Dimana :

Untuk mesin 4 langkah, nilai a adalah 2

Perhitungan diambil dari data eksperimen kelompok kontrol sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya mesin (n)} &= 5000 \text{ rpm} \\ \text{Daya mesin (P)} &= 10 \text{ hp} \\ \text{Diameter silinder (D)} &= 62 \text{ mm} = 6,2 \text{ cm} \\ \text{Panjang langkah torak} &= 48,8 \text{ mm} = 4,88 \text{ cm} \\ \text{Volume langkah (Vd)} &= 147,3 \text{ cc} \\ \text{Jumlah silinder} &= 1 \end{aligned}$$

Karena volume langkah sudah diketahui dari spesifikasi mesin yaitu 147,3 cc, maka persamaan diatas dapat diganti menjadi persamaan sebagai berikut:

$$\text{bmep} = \frac{a \cdot P}{Vd \cdot n \cdot i} \text{ (Pa)}$$

Sehingga tekanan efektif rata – rata (*Bmep*) dapat dihitung sebagaimana berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{bmep} &= \frac{2 \times 10 \text{ hp}}{0,0001473 \text{ m}^3 \times \left(\frac{5000}{60}\right) \text{ detik}^{-1} \times 1} \times \frac{746 \text{ watt}}{\text{hp}} \text{ (Pa)} \\ &= 1215,479 \text{ kPa} \end{aligned}$$

4.1.3 Perhitungan Effisiensi Thermal (η)

Effisiensi thermal dapat di cari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{P}{\dot{m}_f \cdot Q_{HV} \cdot 0.95}$$

Dimana :

P = daya mesin (KW)

\dot{m}_f = laju aliran massa bahan bakar ($\frac{kg}{s}$)

Q_{HV} = jumlah kaloir bahan bakar ($\frac{kJ}{kg}$)

Karena $sfc = \frac{\dot{m}_f}{P}$ maka persamaan diatas menjadi

$$\eta_{th} = \frac{1}{sfc \cdot Q_{HV}}$$

Dimana sfc adalah konsumsi bahan bakar spesifik

Sehingga :

$$\eta_{th} = \frac{3600 \times 0,746}{0,087 \left(\frac{kg}{hp \cdot jam} \right) \times 44400 \left(\frac{kJ}{kg} \right)} \times 100 \%$$

$$= 69,52 \%$$

4.1.4 Perhitungan Effisiensi Volumetris

Untuk menghitung effisiensi volumetrik digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_v = m_a / \rho_a V_d \text{ [Pulkrabek,60]}$$

Dimana :

m_a = massa udara (Kg)

ρ_a = densitas udara pada tekanan atmosfer di luar mesin sebelum pembakaran

$$= 1,181 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \text{ [Pulkrabek, 55]}$$

V_d = Volume displasemen

$$= (\pi/4) B^2 S \text{ [Pulkrabek,38]}$$

$$= (\pi/4) \times 6,2 \text{ cm}^2 \times 4,88 \text{ (cm)}$$

$$= 147,33 \text{ cm}^3$$

$$= 0,0001473 \text{ m}^3$$

Mencari massa udara (m_a) dengan menggunakan rumus untuk menghitung AFR. Persamaan yang digunakan yaitu :

$$AFR = \frac{m_a}{m_f}$$

Dimana :

$$\lambda = \frac{AFR_{ac}}{AFR_{st}}$$

$$AFR_{ac} = \lambda \cdot AFR_{st}$$

$$= 0,956 \times 14,7$$

$$= 14,0532$$

Sehingga :

$$m_a = AFR \times m_{bb}$$

$$= 14,053 \times 0,00732 \text{ (Kg)}$$

$$= 0,103 \text{ (Kg)}$$

Maka efisiensi volumetri dapat dihitung :

$$\eta_v = \frac{0,103 \text{ (Kg)}}{1,181 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times 0,0001473 \text{ m}^3} \times 100 \%$$
$$= 49,97 \%$$

4.2 Analisa Unjuk Kerja

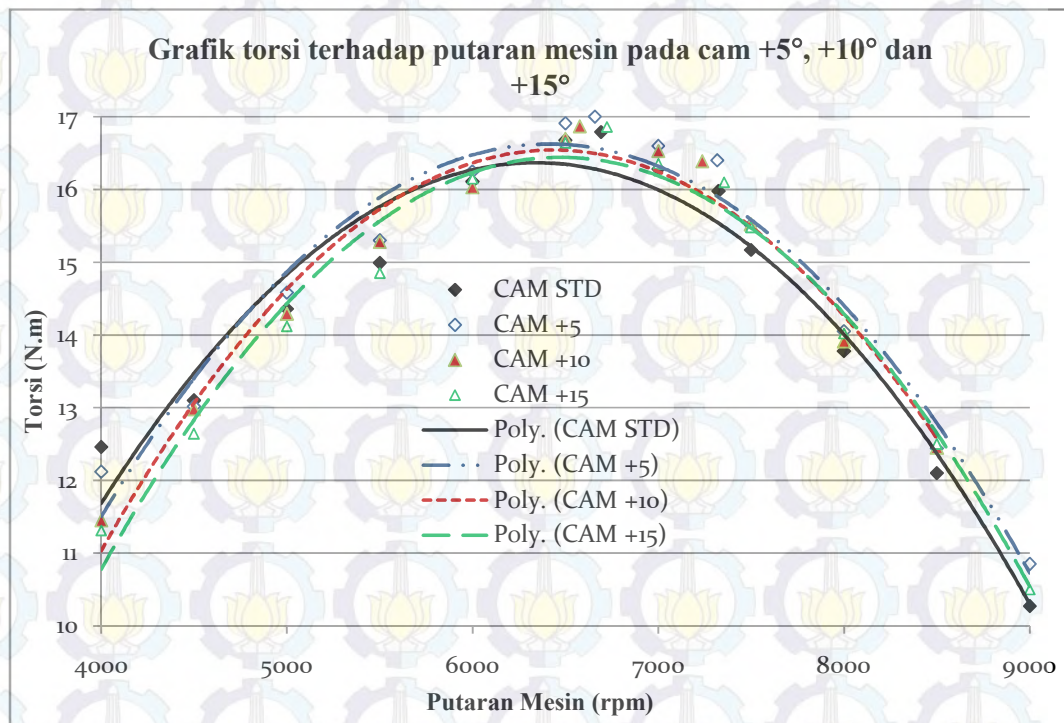
4.2.1 Camshaft standar

4.2.1.1 Torsi.

Dari hasil eksperimen pada pergeseran camshaft standar dengan 5 variabel yaitu pergeseran ke arah kanan $+5^0$, $+10^0$, $+15^0$ dan pergeseran ke arah kiri -5^0 , -10^0 didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Torsi mesin (N.m) untuk cam exhaust standar dengan variabel derajat bukaan katub buang (*exhaust valve*)

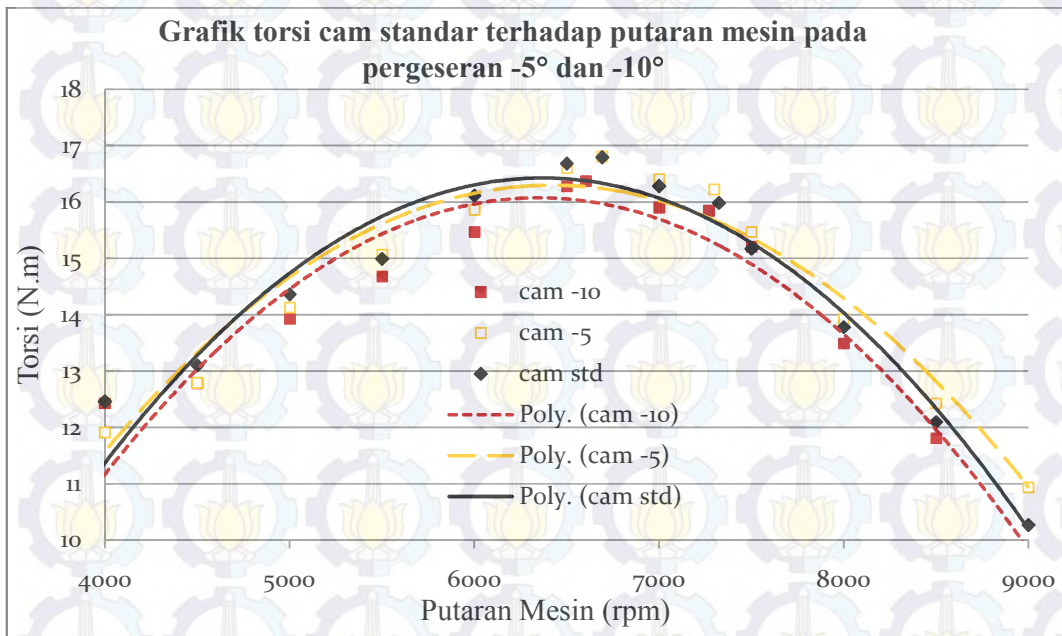
RPM	Torsi (N.m) camshaft standar					
	cam std	cam +5°	cam +10°	cam +15°	cam - 5°	cam - 10°
4000	12,46	12,12	11,59	11,31	11,91	12,43
4500	13,1	13,02	12,98	12,64	12,79	12,78
5000	14,36	14,58	14,29	14,12	14,13	13,93
5500	14,99	15,3	15,28	14,85	15,07	14,68
6000	16,11	16,18	16,03	16,15	15,86	15,47
6500	16,68	16,91	16,77	16,64	16,6	16,28
peak torsi	16,79 (6693 rpm)	17 (6658 rpm)	16,87 (6577 rpm)	16,86 (6724 rpm)	16,81 (6693 rpm)	16,37 (6603 rpm)
7000	16,28	16,46	16,53	16,35	16,41	15,9
7324	15,98	16,28	16,39	16,1	16,22	15,84
7500	15,17	15,51	15,52	15,48	15,47	15,21
8000	13,78	14,05	13,91	14,02	13,92	13,49
8500	12,1	12,44	12,45	12,5	12,43	11,81
9000	10,27	10,85	10,3	10,5	10,94	9,62



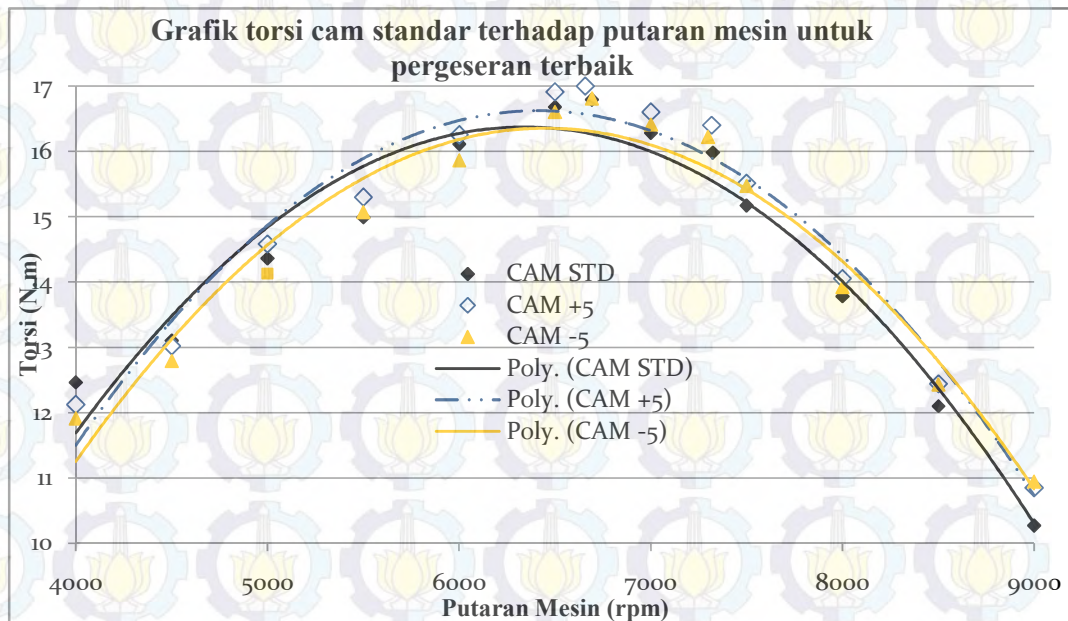
Gambar 4.1 Grafik torsi (N.m) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust standar +5, +10°, dan +15°

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa torsi terbaik pada pergeseran cam standar ke arah kanan ($+5^\circ$, $+10^\circ$ dan $+15^\circ$) adalah pada pergeseran $+5^\circ$ dengan nilai 17 N.m pada putaran 6658 rpm. Dari semua pergeseran yang dilakukan memiliki *trendline* yang sama, yaitu torsi semakin naik seiring dengan kenaikan putaran engine hingga pada suatu putaran tertentu torsi akan mencapai puncaknya, dan kemudian torsi akan menurun seiring dengan kenaikan putaran engine, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.1

Sedangkan untuk pergeseran ke arah kiri (-5° dan -10°), torsi maksimal berada pada geseran -5° dengan nilai 16,81 N.m berada putaran 6693 rpm. Pada putaran di bawah 7000 rpm, torsi dengan pergeseran -5° lebih rendah dibanding dengan torsi cam standar, namun pada putaran diatas 7000 rpm, torsi cam -5° lebih tinggi dibanding dengan cam standar. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran mesin maka semakin cepat pula saat pembukaan dan penutupan katub buang sehingga saat pemasukan campuran bahan bakar dan udara ke dalam silinder semakin singkat sehingga efesiensi volumetrik menurun yang mengakibatkan tekanan hasil pembakaran menurun maka torsi juga mengalami penurunan seperti terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik torsi (N.m) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust standar, -5° , dan -10°



Gambar 4.3 Grafik torsi cam standar terhadap putaran mesin untuk pergeseran terbaik

Dari semua pergeseran yang dilakukan baik ke arah kiri maupun ke arah kanan didapatkan bahwa pada pergeseran ke arah kanan, untuk putaran di bawah 7000 rpm pergeseran terbaik berada pada pergeseran $+5^\circ$ dengan rata-rata kenaikan torsi sebesar 1,40% bila dibandingkan dengan camshaft standar. Sedangkan pergeseran ke arah kiri, pergeseran terbaik terjadi pada pergeseran -5° dengan kenaikan torsi sebesar 0,26 % bila dibandingkan dengan camshaft standar, untuk putaran mesin di atas 7000 rpm.

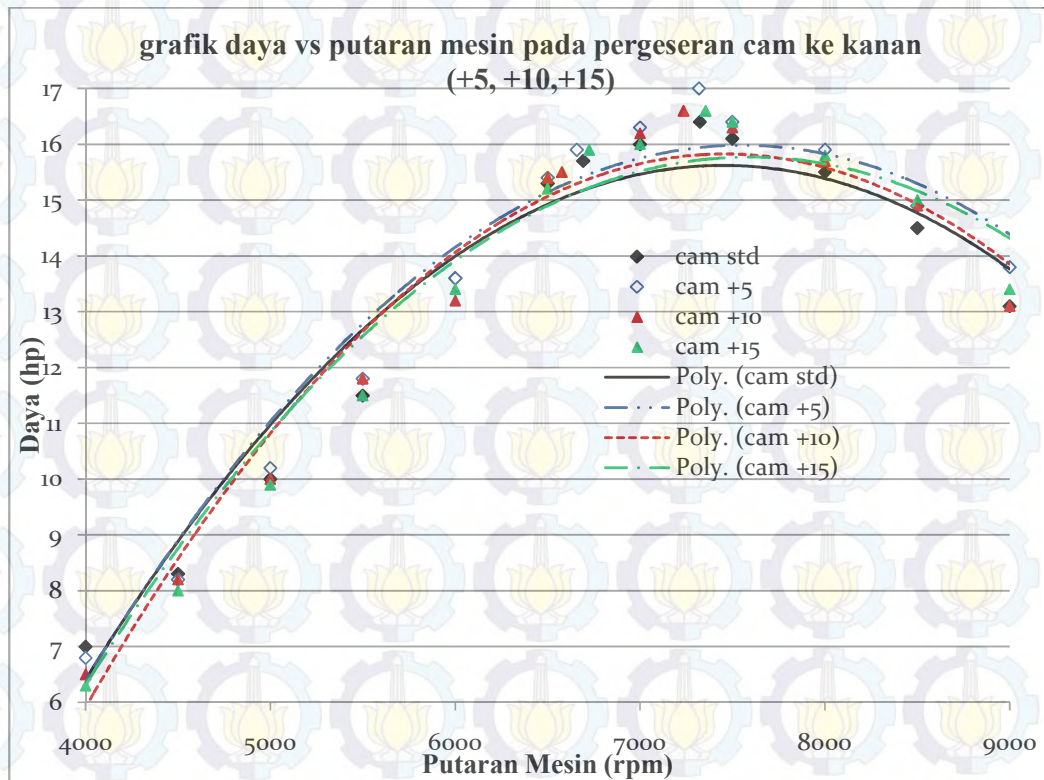
4.2.1.2 Daya

Dari hasil eksperimen pada camshaft standar dengan 5 variabel yaitu kekanan $+5^\circ$, $+10^\circ$, $+15^\circ$ dan kekiri -5° , -10° untuk daya didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 4.2 Daya mesin (hp) untuk cam exhaust standar variabel dengan pergeseran ke kanan $+5^0$, $+10^0$, $+15^0$ dan kekiri -5^0 , -10^0

RPM	Daya (Hp)					
	cam std	cam $+5^0$	cam $+10^0$	cam $+15^0$	cam -5^0	cam -10^0
4000	7	6,8	6,5	6,3	6,7	7
4500	8,3	8,2	8,2	8	8,1	8,1
5000	10	10,2	10	9,9	9,9	9,8
5500	11,5	11,8	11,8	11,5	11,6	11,3
6000	13,6	13,6	13,5	13,6	13,3	13
6500	15,3	15,4	15,4	15,2	15,1	14,8
6693	15,7	15,9	15,5	15,9	15,7	15,1
7000	16	16,3	16,2	16	16,2	15,6
hp max	16,4 (7324 rpm)	16,7 (7318 rpm)	16,6 (7236 rpm)	16,6 (7355 rpm)	16,6 (7298 rpm)	16,2 (7271 rpm)
7500	16,1	16,4	16,3	16,4	16,3	16
8000	15,5	15,9	15,7	15,8	15,7	15,2
8500	14,5	14,9	14,9	15	14,9	14,2
9000	13,1	13,8	13,1	13,4	14,1	12,2

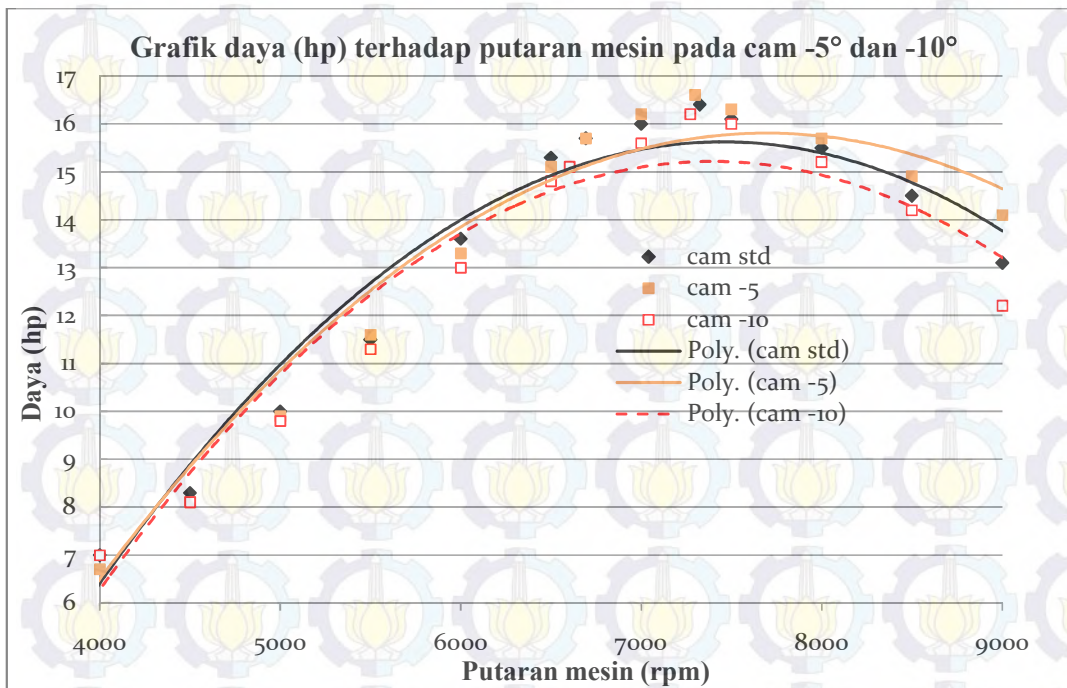
Dari tabel 4.2 terlihat bahwa dengan menggeser derajat bukaan katub exhaust standar ke kiri -5^0 , -10^0 dan ke kanan $+5^0$, $+10^0$, $+15^0$ tidak terlihat kenaikan daya yang signifikan dibanding dengan camshaft standar. Pada pergeseran ke arah kanan daya terbaik diperoleh pada cam exhaust standar $+5$ untuk rentang di atas 7500 rpm dengan kenaikan sebesar 5 %. Hal ini dikarenakan dengan menggeser cam exhaust standar $+5$ mengakibatkan waktu penutupan katub buang lebih lambat sehingga memberikan waktu pada gas buang untuk keluar lebih sempurna. Hal ini menyebabkan persentase bahan bakar yang masuk menjadi lebih banyak dengan demikian maka daya yang dihasilkan juga dapat meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa pembakaran di ruang bakar terjadi lebih sempurna. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.4 grafik daya vs putaran mesin pada pergeseran cam ke kanan (+5, +10, +15)

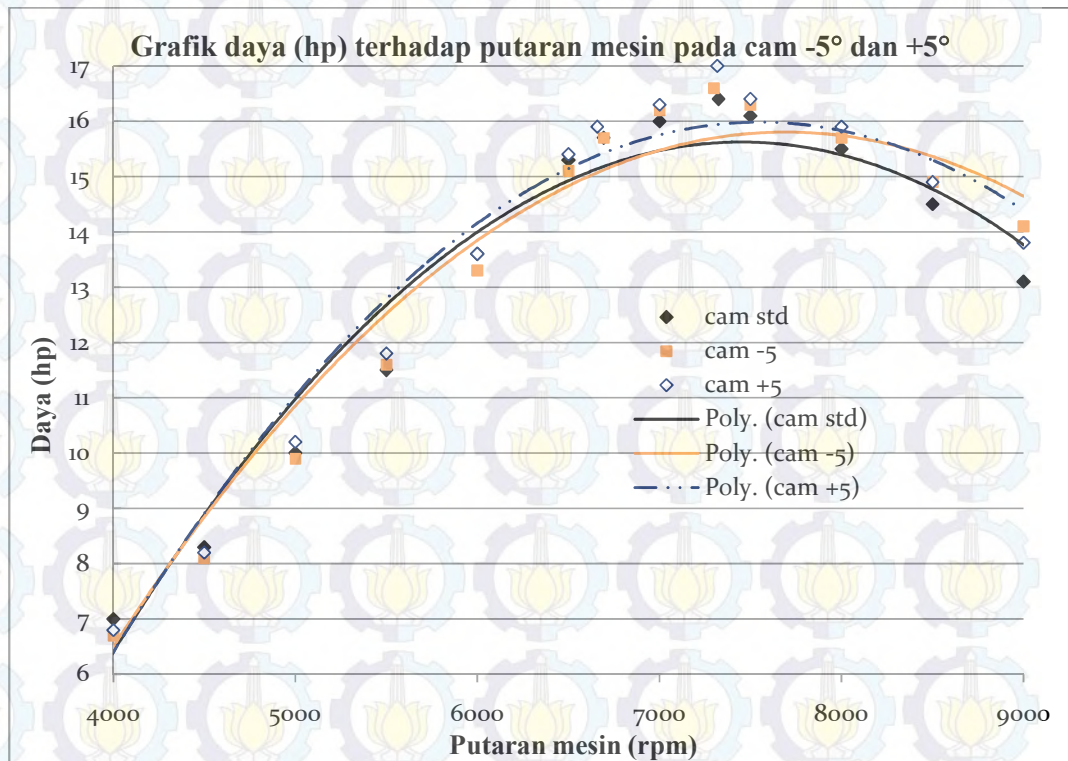
Untuk pergeseran cam exhaust standar ke arah kiri -5° , -10° , terlihat bahwa pergeseran -5 ada kenaikan daya sebesar 30% pada rentang di atas 7500 rpm namun pada rentang kecepatan di bawah 7000 rpm daya yang dihasilkan berada 4% dibawah cam exhaust standar. Hal ini disebabkan dengan menggeser cam exhaust ke arah kiri (-5) maka waktu pembukaan dari katub buang menjadi lebih cepat dengan demikian gas buang yang berada di dalam ruang bakar terbang lebih cepat dan pemasukan campuran bahan bakar dan udara ke dalam ruang bakar menjadi berlebih, padahal pada kecepatan rendah kebutuhan akan konsumsi bahan bakar lebih sedikit dibandingkan pada putaran tinggi, sehingga banyak bahan bakar yang tidak dapat terbakar dan ikut keluar bersama dengan gas buang. Hal ini mengakibatkan rendahnya daya pada putaran rendah. Sedangkan pada putaran tinggi dengan membutuhkan bahan bakar yang tinggi pula, dengan demikian semakin banyaknya bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar

yang dapat terbakar dengan sempurna maka dayapun akan semakin meningkat. Hal ini dapat di lihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik daya (hp) terhadap putaran mesin pada cam -5° dan -10°

Dari hasil uraian diatas didapatkan bahwa dari semua pergeseran yang dilakukan, baik ke arah kanan maupun ke arah kiri, didapatkan pergeseran cam yang terbaik untuk daya mesin yaitu pada pergeseran $+5^\circ$ dan -5° seperti terlihat pada gambar 4.6 yang mana untuk putaran dibawah 7000 rpm nilai daya terbaik pada pergeseran $+5^\circ$ dengan rata-rata prosentase kenaikan 1,68% dibandingkan camshaft standar dan untuk putaran di atas 7000 rpm pergeseran -5° adalah yang terbaik walaupun kenaikannya tidak terlalu signifikan, yaitu sekitar 0.69 % dari camshaft standar .

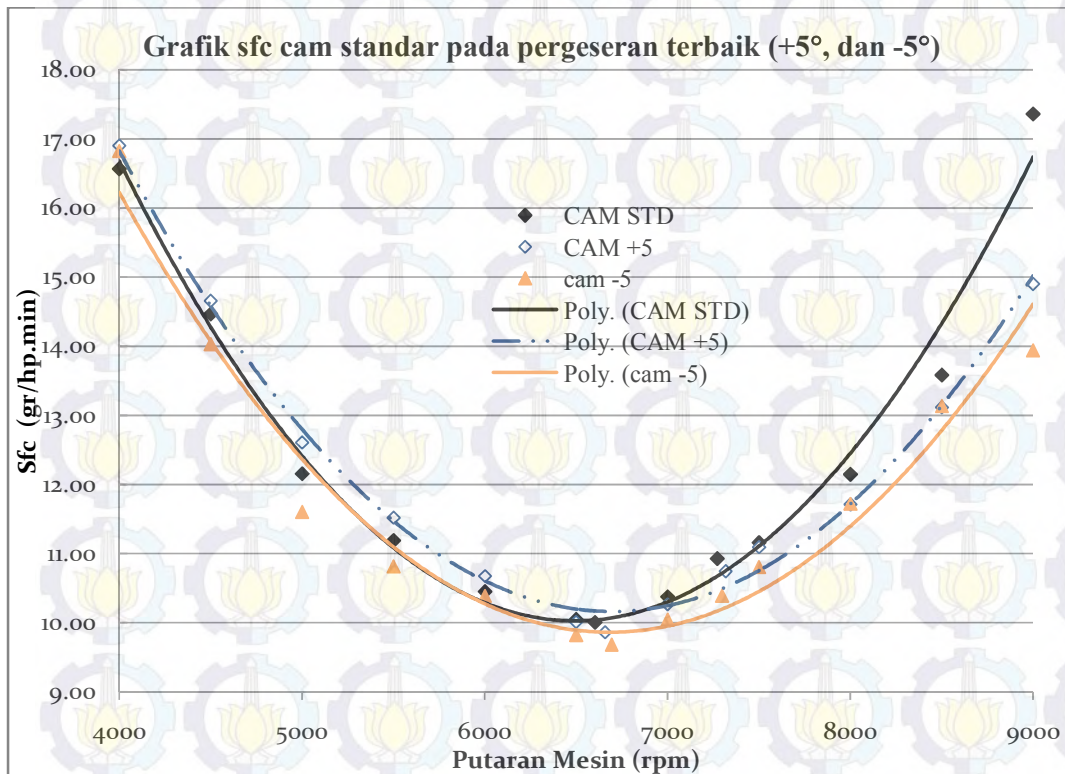


Gambar 4.6 Grafik daya (hp) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust standar $+5^0$, dan -5^0

4.2.1.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) adalah jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan daya dalam waktu satu jam. Besar atau kecilnya sfc ditentukan oleh sempurna atau tidaknya campuran bahan bakar dan udara yang terbakar di dalam ruang bakar. Hal ini akan mengindikasikan bahwa dengan semakin sempurna pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar maka akan menghasilkan daya yang semakin besar. Jadi sfc merupakan representasi dari keefektifan mesin dalam mengkonsumsi bahan bakar.

Dari pembahasan pada daya dan torsi pada camshaft standar, didapat pergeseran terbaik pada pergeseran cam $+5^0$ dan -5^0 . Sehingga pembahasan mengenai pemakaian bahan bakar spesifik di fokuskan pada pergeseran tersebut.



Gambar 4.7 Grafik sfc vs putaran mesin pada pergeseran cam terbaik (+5° dan -5°).

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa untuk pergeseran -5° memberikan nilai sedikit lebih rendah dibanding sfc standar untuk rentang putaran di bawah 6500 rpm namun kemudian di atas rentang putaran 7000 rpm nilai sfc semakin menurun dibanding sfc standar. Hal ini disebabkan karena pada pergeseran -5° katub buang menutup lebih lambat sehingga gas buang lebih dapat keluar lebih banyak yang menyebabkan campuran bahan bakar dan udara yang masuk lebih banyak. Selain itu juga pergeseran -5° memberikan derajat katub exhaust lebih awal, sehingga pada putaran rendah dimana gaya inersia bahan bakar – udara rendah menghasilkan efek bahan bakar terdorong kembali oleh pergerakan piston menjadi turun yang menyebabkan bahan bakar – udara tidak terbang percuma.

Sedangkan untuk pergeseran +5° memberikan nilai terendah di bandingkan sfc standar untuk rentang putaran di bawah 6500 rpm. Hal ini disebabkan pada pergeseran +5° memberikan derajat tutup katub exhaust lebih besar, hal ini membuat campuran bahan bakar – udara akan terdorong keluar bersama dengan

keluarnya gas buang sehingga performa mesin yang di hasilkan juga menurun. Namun pada rentang putaran diatas 7000 rpm sfc mengalami penurunan sebesar 5% dibanding sfc standar. Hal ini mengindikasikan bahwa pada rentang putaran tinggi pemakaian bahan bakar pada pergeseran $+5^{\circ}$ lebih hemat, sedangkan pada putaran rendah konsumsi bahan bakar yang terbaik ada pada pergeseran -5° .

4.2.2 Camshaft Modifikasi

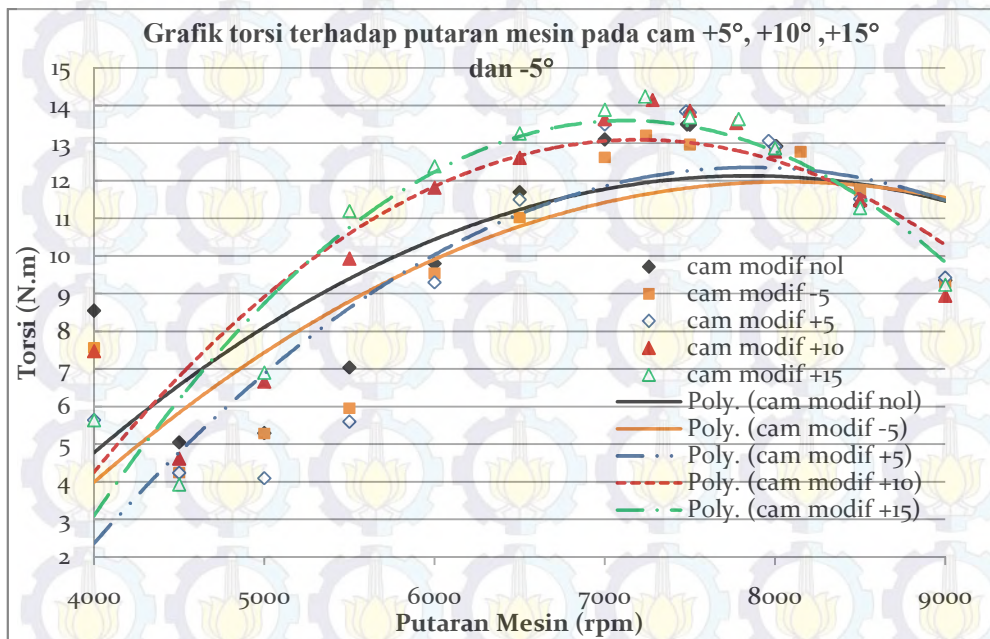
4.2.2.1 Torsi.

Pada camshaft modifikasi juga dilakukan pergeseran baik ke arah kanan ($+5^{\circ}$, $+10^{\circ}$ dan $+15^{\circ}$) maupun ke arah kiri (-5°), pergeseran cam -10° dan -15° tidak dilakukan dikarenakan pada -5° sudah tidak memberikan nilai penambahan yang lebih baik. Adapun hasil eksperimen pada camshaft modifikasi dengan 4 variabel uji yaitu kekanan $+5^{\circ}$, $+10^{\circ}$, $+15^{\circ}$ dan ke kiri -5° di dapat data seperti pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Torsi mesin (N.m) untuk cam exhaust standar dengan variabel derajat bukaan katub buang (*exhaust valve*)

RPM	Torsi (N.m) camshaft modifikasi				
	cam modif nol	cam modif -5°	cam modif $+5^{\circ}$	cam modif $+10^{\circ}$	cam modif $+15^{\circ}$
4000	9,55	9,57	8,64	8,47	6,64
4500	5,05	4,25	4,24	4,62	3,93
5000	5,3	5,29	4,1	6,66	6,9
5500	7,04	5,96	5,6	9,93	11,2
6000	9,8	9,54	9,3	11,82	12,39
6500	11,7	11,03	11,5	12,61	13,26
7000	13,1	12,63	13,5	13,64	13,89
torsi max	13,5 (7481 rpm)	13,2 (7242 rpm)	13,84 (7477 rpm)	14,15 (7280 rpm)	14,24 (7237 rpm)
7500	13,49	12,96	13,82	13,86	13,69
8000	12,92	12,78	13,07	13,54	13,64
8007	12,92	12,77	12,91	12,78	12,87
8500	11,36	11,75	11,52	11,49	11,28
9000	9,36	9,31	9,43	8,95	9,24

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa torsi terbaik pada pergeseran cam standar ke arah kanan ($+5^\circ$, $+10^\circ$ dan $+15^\circ$) adalah pada pergeseran $+15^\circ$ dengan nilai 14,24 N.m pada putaran 7237 rpm. Dari semua pergeseran yang dilakukan memiliki *trendline* yang sama, yaitu torsi semakin naik seiring dengan kenaikan putaran engine hingga pada suatu putaran tertentu torsi akan mencapai puncaknya, dan kemudian torsi akan menurun seiring dengan kenaikan putaran engine, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik torsi (N.m) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust standar $+5^\circ$, $+10^\circ$, $+15^\circ$ dan -5°

Pada gambar 4.8 di atas terlihat bahwa pada rentang putaran di bawah 8200 rpm pergeseran $+15^\circ$ memberikan nilai unjuk kerja yang lebih tinggi di banding dengan cam exhaust modifikasi, dan untuk rentang kecepatan di atas 8200 rpm torsi yang lebih besar di berikan oleh pergeseran $+5^\circ$ walaupun kenaikannya tidak terlalu signifikan dibandingkan cam exhaust modif nol. Hal ini dikarenakan pada pergeseran $+15^\circ$, cam menutup lebih lambat dibandingkan camshaft standar yang mengakibatkan waktu penutupan dari camshaft pada pergeseran $+15^\circ$ lebih lama sehingga gas sisa hasil pembakaran di dalam ruang bakar dapat keluar lebih banyak dengan kata lain ruang bakar menjadi lebih bersih

dari gas sisa hasil pembakaran yang akhirnya mengakibatkan proses pembakaran menjadi lebih sempurna sehingga torsi yang dihasilkan meningkat.

4.2.2.2 Daya

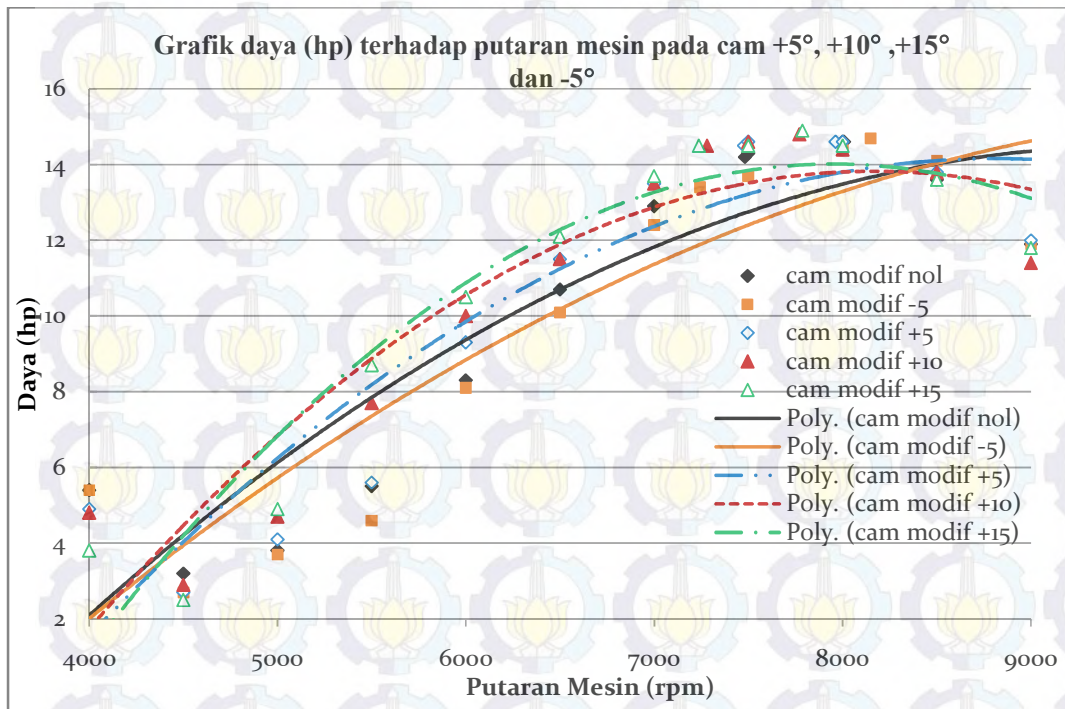
Pada camshaft modifikasi juga dilakukan pergeseran baik ke arah kanan (+5°, +10° dan +15°) maupun ke arah kiri (-5°), pergeseran cam -10° dan -15° tidak dilakukan dikarenakan pada -5° sudah tidak memberikan nilai penambahan yang lebih baik. Adapun hasil eksperimen pada camshaft modifikasi dengan 4 variabel uji yaitu kekanan +5°, +10°, +15° dan ke kiri -5° di dapat data seperti pada tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Daya mesin (hp) untuk cam exhaust standar dengan variabel derajat bukaan katub buang (*exhaust valve*)

rpm	Daya (hp) camshaft modifikasi				
	cam modif nol	cam modif -5°	cam modif +5°	cam modif +10°	cam modif +15°
4000	5,4	5,4	4,9	4,8	3,8
4500	3,2	2,7	2,7	2,9	2,5
5000	3,8	3,7	4,1	4,7	4,9
5500	5,5	4,6	5,6	7,7	8,7
6000	8,3	8,1	9,3	10	10,5
6500	10,7	10,1	11,5	11,5	12,1
7000	12,9	12,4	13,5	13,5	13,7
7481	14,2	13,4	14,5	14,5	14,5
7500	14,3	13,7	14,6	14,6	14,5
Peak torsi			14,6 (7962 rpm)	14,8 (7771 rpm)	14,9 (7786 rpm)
8000	14,58	14,4	14,6	14,4	14,5
Peak torsi	14,6 (8007 rpm)	14,7 (8150 rpm)			
8500	13,6	14,1	13,8	13,8	13,6
9000	11,9	11,9	12	11,4	11,8

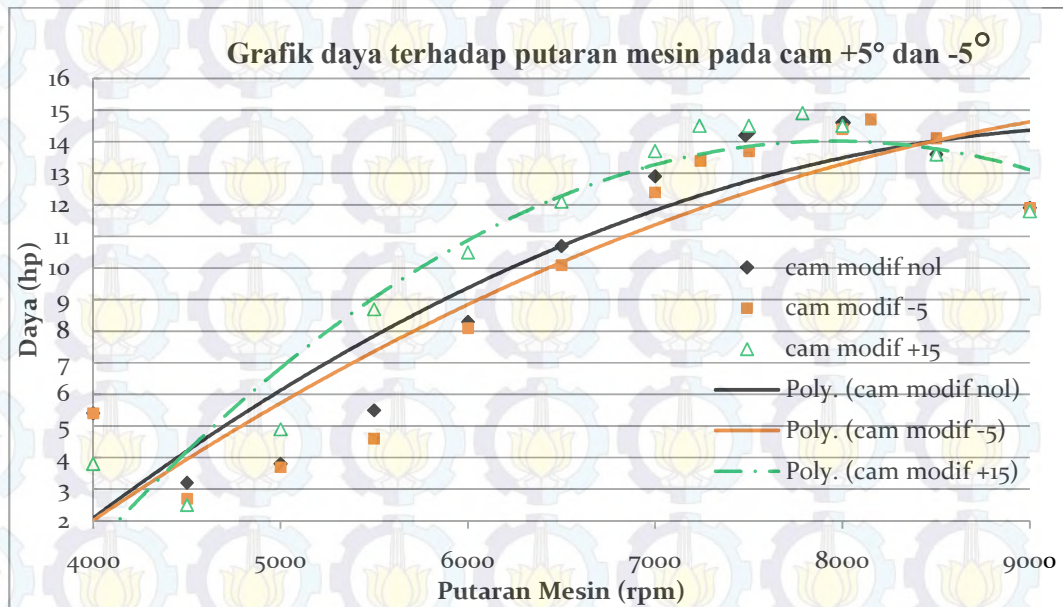
Dari tabel 4.4 diatas, terlihat bahwa daya terbaik pada camshaft modifikasi terjadi pada pergeseran +15° ke arah kanan, dengan daya maksimum sebesar 14,9 (hp) pada putaran 7786 rpm. Tabel 4.4 menunjukkan fenomena yang sama dengan camshaft standar yaitu pergeseran ke kanan memberikan nilai unjuk kerja

lebih tinggi dibanding tanpa geseran serta rpm puncak lebih rendah. Pergeseran ke kiri -5° derajat memberikan nilai unjuk kerja yang lebih rendah pada rentang putaran di bawah 8000 rpm kemudian ada kenaikan sedikit di atas putaran 8000 rpm namun tidak terlalu signifikan. Pergeseran -10° dan -15° tidak dilakukan dikarenakan pada -5° derajat sudah tidak memberikan nilai penambahan yang lebih baik. Grafik pergeseran pada camshaft modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Daya (hp) terhadap putaran engine (rpm) untuk cam exhaust modifikasi $+5^{\circ}$, $+10^{\circ}$, $+15^{\circ}$ dan -5°

Dari gambar 4.9 diatas dapat di lihat bahwa pergeseran terbaik pada camshaft modifikasi berada pada pergeseran $+15^{\circ}$ kearah kanan dengan persentase kenaikan sebesar 7% dibanding camshaft modif nol dan -5° ke arah kiri walaupun untuk pergeseran -5° tidak terlalu signifikan naiknya, yaitu sekitar 0,26% dari camshaft modif nol. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Grafik daya (hp) vs putaran mesin untuk camshaft modifikasi dan geseran terbaik

Dari gambar 4.8 di atas terlihat bahwa pada rentang putaran di bawah 8200 rpm pergeseran $+15^0$ memberikan nilai daya yang lebih tinggi di banding dengan cam modif nol dan pergeseran -5^0 , namun setelah itu untuk rentang putaran di atas 8200 rpm cam exhaust modif nol dan -5^0 menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibanding pergeseran $+15^0$. Hal ini disebabkan karena dengan profil cam modifikasi yang mempunyai lift yang lebih tinggi dibanding camshaft standar mengakibatkan waktu buka dan tutup katup buang lebih lama maka dengan pergeseran $+15^0$ ke kanan mengakibatkan terlambatnya waktu penutupan dari katub exhaust modifikasi sehingga gas buang dapat keluar lebih banyak yang mengakibatkan kekosongan/kevakuman di ruang bakar sehingga dapat membantu menghisap campuran bahan bakar – udara ke dalam ruang bakar. Namun pada putaran tinggi waktu klep untuk membuka dan menutup sangat singkat sehingga campuran bahan bakar ikut keluar bersama dengan gas buang sehingga menyebabkan performa mesin menjadi menurun.

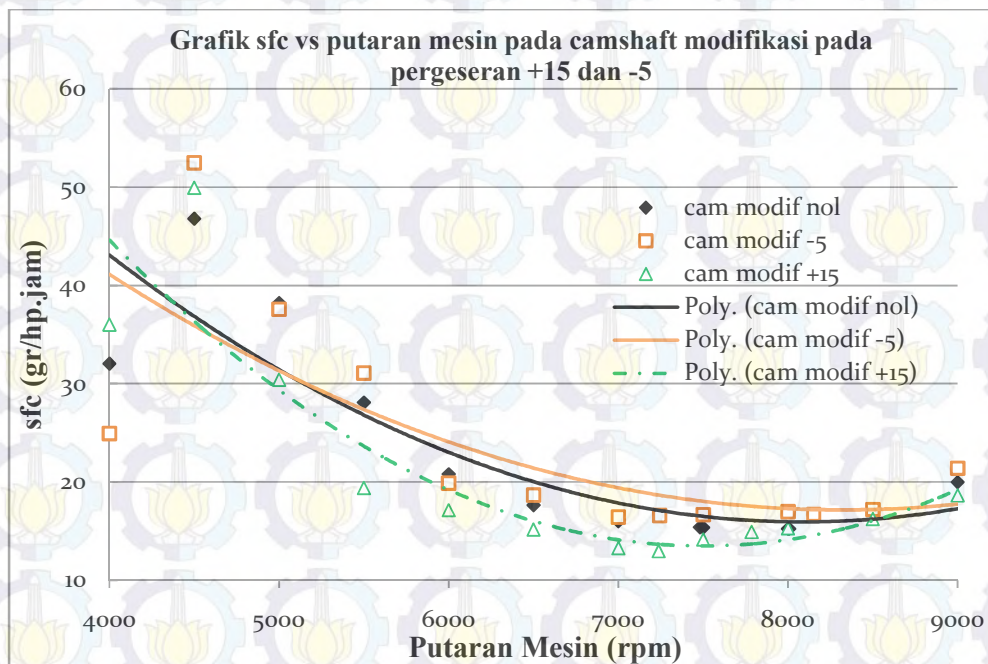
Sedangkan untuk pergeseran -5^0 untuk rentang putaran di bawah 8200 rpm nilai unjuk kerjanya lebih rendah dari cam exhaust nol modifikasi namun pada putaran diatas 8200 ada sedikit kenaikan walaupun tidak signifikan. Hal ini dikarenakan dengan profil camshaft modifikasi yang lebih gemuk ditandai dengan

lift yang lebih tinggi dibanding camshaft standar menjadikan suplai bahan bakar-udara menjadi lebih kaya selain itu juga waktu buka dan penutupan katub buang lebih lama, sehingga campuran bahan bakar -udara yang seharusnya terbakar sebagian ikut keluar bersama dengan gas buang, mengakibatkan unjuk kerja mesin menjadi turun.

4.2.2.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) Untuk Camshaft Modifikasi

Sama seperti pada camshaft standar, pengertian mengenai konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) adalah jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan daya dalam waktu satu jam. Besar atau kecilnya sfc ditentukan oleh sempurna atau tidaknya campuran bahan bakar dan udara yang terbakar di dalam ruang bakar. Hal ini akan mengindikasikan bahwa dengan semakin sempurna pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar maka akan menghasilkan daya yang semakin besar. Jadi sfc merupakan representasi dari keefektifan mesin dalam mengkonsumsi bahan bakar.

Dari pembahasan pada torsi dan daya pada camshaft modifikasi di atas, di dapatkan bahwa pergeseran terbaik berada pada pergeseran camshaft $+15^\circ$ kearah kanan dan -5° kearah kiri.



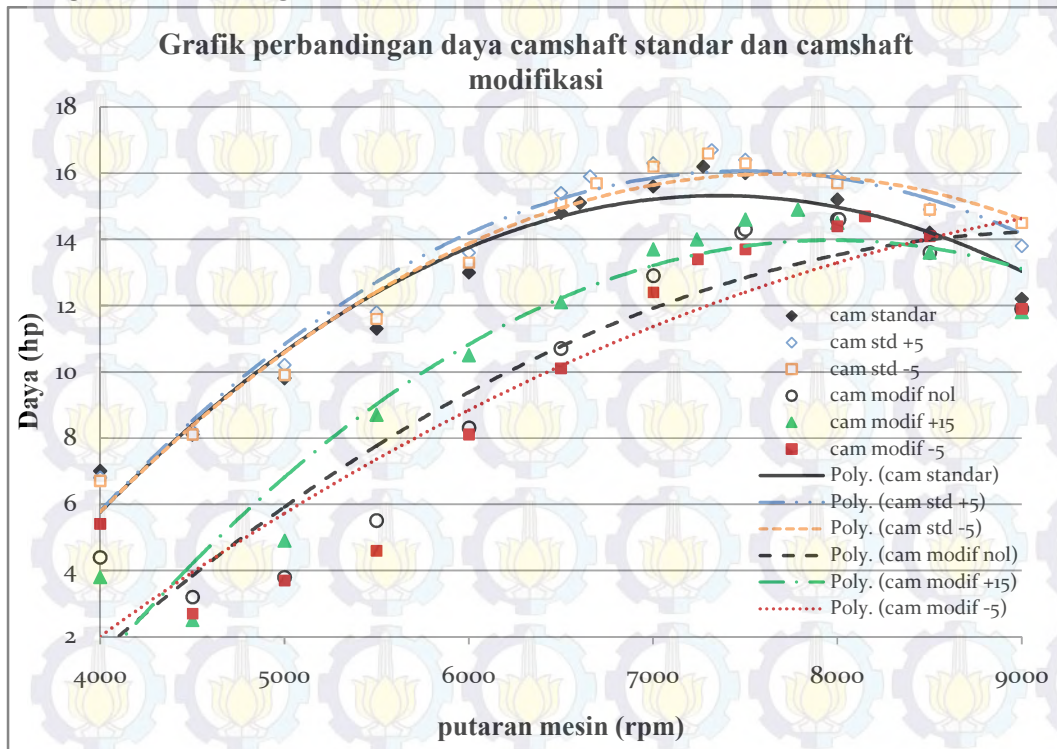
Gambar 4.11 Grafik sfc (gr/hp.min) vs putaran mesin untuk camshaft modifikasi dan geseran terbaik

Dari gambar 4.11 dapat dilihat grafik dari pemakaian bahan bakar spesifik pada pergeseran cam $+15^\circ$ kearah kanan pada putaran diatas 5000 rpm lebih rendah dibandingkan pada cam modif nol dengan prosentasi penurunan sebesar 9%. Dengan kata lain cam dengan pergeseran $+15^\circ$ kearah kanan lebih hemat 9% untuk pemakaian bahan bakar dibandingkan dengan cam modif nol. Hal ini disebabkan karena pada pergeseran $+15^\circ$ kearah kanan waktu penutupan katub buang lebih lambat menutup sehingga gas sisa hasil pembakaran dapat keluar lebih banyak sehingga ruang bakar menjadi lebih bersih dari gas sisa pembakaran sehingga proses pembakaran dapat berlangsung lebih sempurna yang artinya bahwa campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar dengan lebih sempurna. Sedangkan pada pergeseran -5° kearah kiri pada putaran dibawah 5000 rpm berada dibawah cam modif nol kemudian berangsur naik seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Hal ini disebabkan karena pembukaan katub buang lebih awal sehingga pada putaran rendah dimana gaya inersia dari poros engkol masih ada akibat dari proses langkah kerja menghasilkan efek campuran bahan bakar dan udara yang masuk dapat dimanfaatkan dengan baik. Namun seiring dengan kenaikan putaran mesin maka jumlah bahan bakar yang masuk juga semakin banyak, hal ini dikarenakan profil dari camshaft modifikasi mempunyai lift yang lebih tinggi yang menyebabkan durasi pembukaan dan penutupan dari camshaft lebih besar, sehingga bahan bakar yang masuk lebih kaya sehingga pembakaran yang terjadi menjadi tidak sempurna.

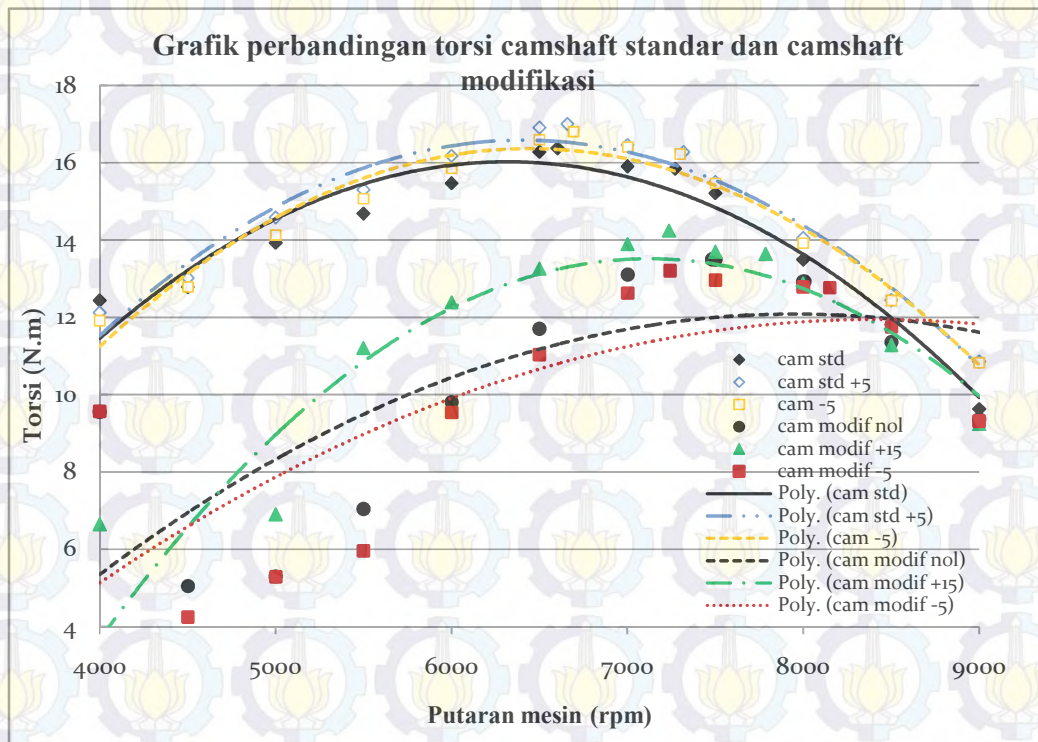
4.2.3 Komparasi Camshaft standar Dan Camshaft Modifikasi

Untuk pemasangan camshaft modifikasi dengan durasi lebih lebar yaitu 259 derajat, katub buang membuka pada 40° sebelum TMB dan menutup 10° sesudah TMA dengan angkatan klep 7,6 mm memberikan nilai unjuk kerja lebih kecil dibandingkan camshaft standar. Camshaft standar memberikan daya 16,4 Hp (7324 rpm) dan torsi 16,79 N.m (6693 rpm). Sedangkan camshaft modifikasi hanya mampu memberikan daya 14,6 Hp (8007rpm) dan torsi 13,5 (7481 rpm). Terlihat pada gambar 4.12 dan gambar 4.13 dibawah ini bahwa unjuk kerja camshaft modifikasi memberikan nilai di bawah camshaft standar. Hal ini dikarenakan dengan profil camshaft modifikasi yang lebih besar ditandai dengan lift yang lebih tinggi mengakibatkan waktu buka tutup dari katub buang lebih

lama di banding dengan camshaft standar, sehingga bahan bakar yang terhisap masuk lebih banyak namun dengan lamanya katub buang menutup, menyebabkan bahan bakar yang masuk ikut terdorong keluar bersama keluarnya gas buang dari ruang bakar sehingga performa dari mesin untuk camshaft modifikasi lebih rendah daripada camshaft standar. Hal ini dapat dilihat dari grafik torsi dan daya pada gambar 4.12 dan gambar 4.13.

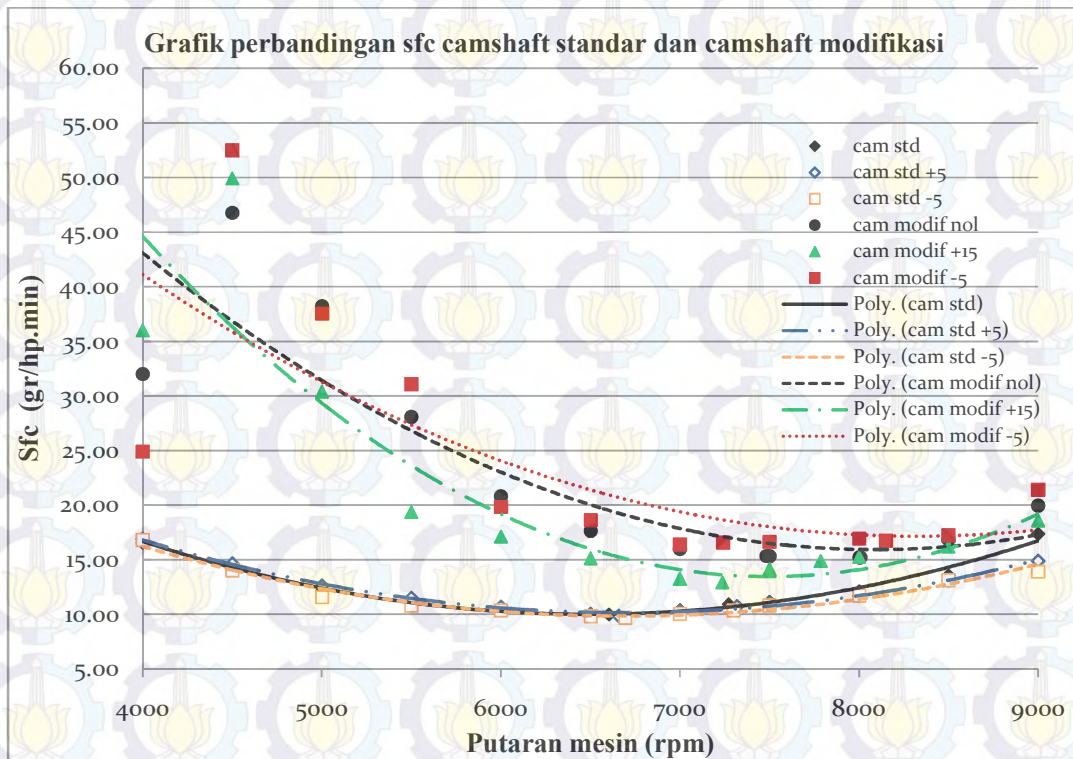


Gambar 4. 12 Grafik perbandingan daya camshaft standar dan modifikasi



Gambar 4. 13 Grafik perbandingan torsi camshaft standar dan modifikasi

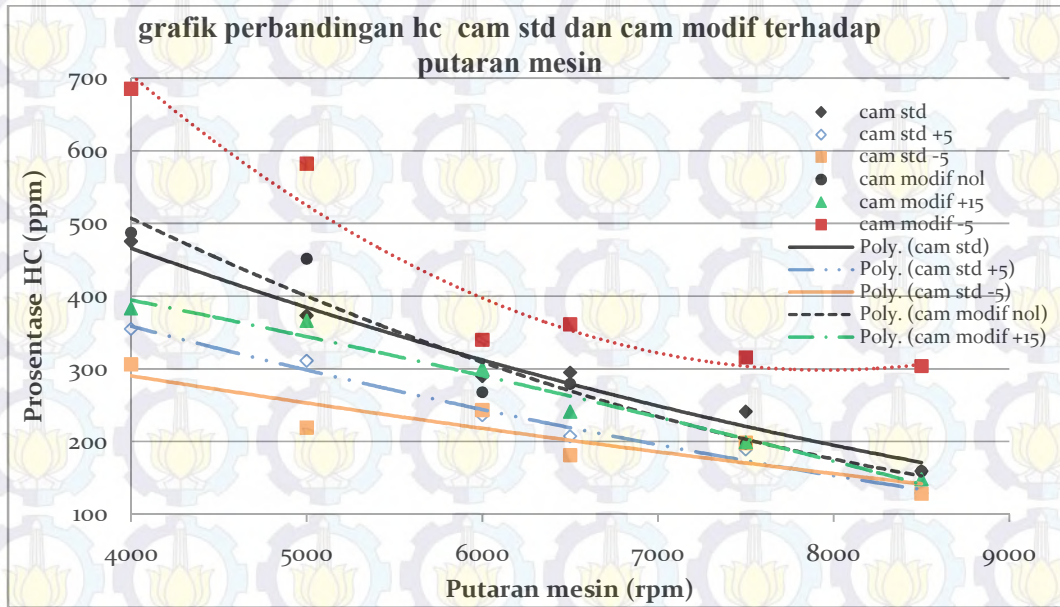
Demikian juga dengan pemakaian bahan bakar spesifik, terlihat bahwa camshaft standar lebih baik hemat dalam pemakaian bahan bakar spesifik, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.14 di bawah ini.



Gambar 4.14 Grafik perbandingan sfc camshaft standar dan camshaft modifikasi

Pada gambar 4.14 untuk camshaft exhaust modifikasi, pergeseran -5° dan $+15^{\circ}$ tidak memberikan nilai yang lebih baik dibanding dengan cam exhaust standar. Hal ini disebabkan pemasangan cam modifikasi baik dengan geseran maupun tanpa geseran telah menyebabkan konsumsi bahan bakar yang berlebih sehingga menghasilkan nilai sfc yang lebih tinggi daripada camshaft standar, dengan kata lain pemakaian bahan bakar untuk camshaft modifikasi lebih boros daripada pemakaian bahan bakar pada camshaft standar.

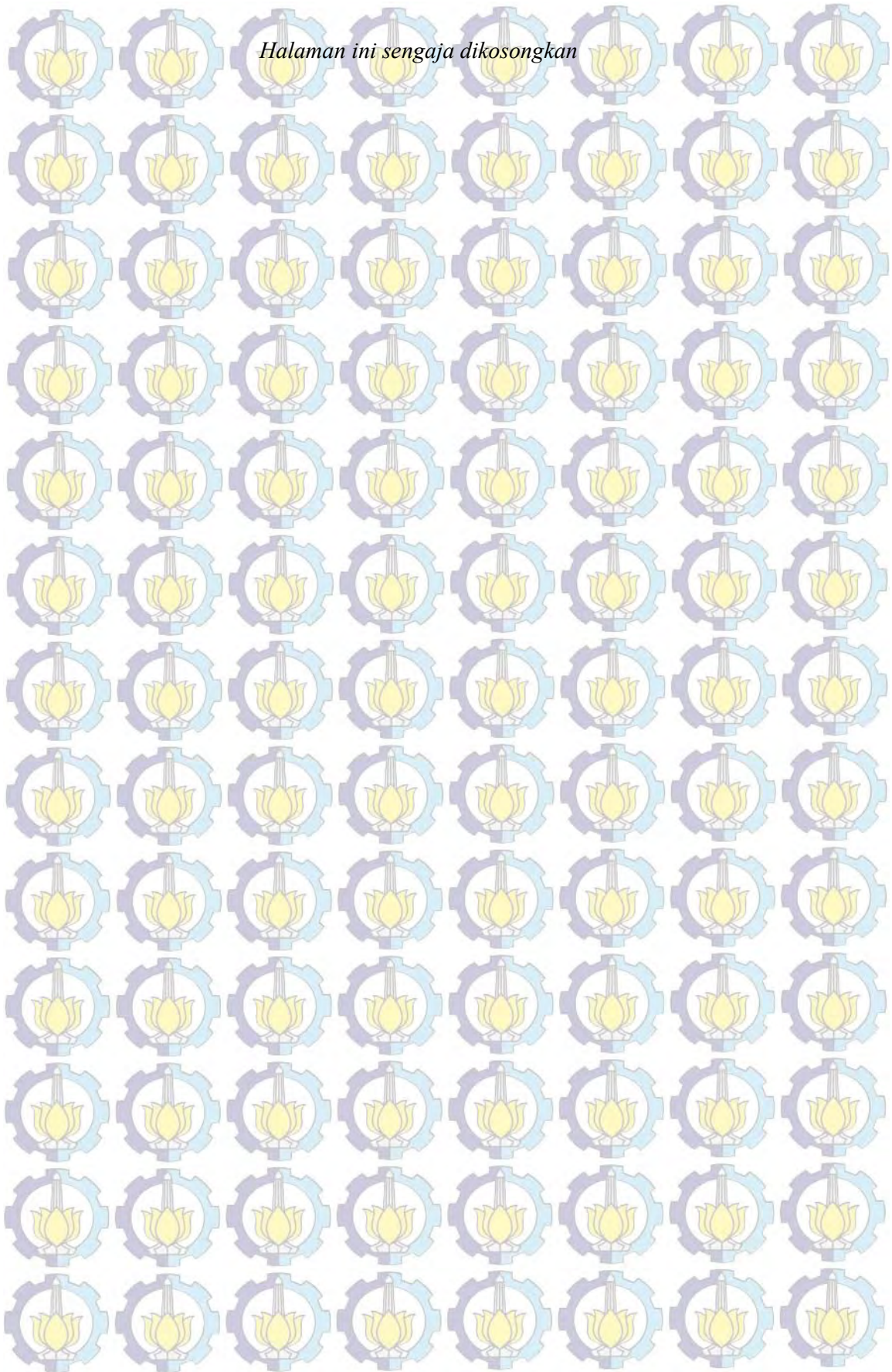
Hal ini dapat dilihat dari persentase keluarnya emisi HC yang terdapat pada gas buang. Tingginya persentase HC menandakan bahwa campuran bahan bakar dan udara tidak dapat terbakar dengan sempurna sehingga ikut terbuang keluar bersama dengan keluarnya gas buang. Perbandingan Persentase dari nilai HC antara camshaft standar dan camshaft modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 grafik perbandingan hc cam std dan cam modif terhadap putaran mesin

Dari gambar 4.15 terlihat bahwa persentase kadar HC yang terendah ada pada pergeseran -5° dan $+5^\circ$ pada camshaft standar. Hal ini mengindikasikan bahwa pada pergeseran tersebut proses pembakaran yang terjadi adalah yang terbaik. Pada dasarnya kandungan HC pada emisi gas buang mengindikasikan banyaknya bahan bakar yang tidak terbakar pada proses pembakaran. Pembakaran yang baik memiliki kadar HC yang rendah. Semakin rendah kadar HC, proses pembakaran yang terjadi semakin mendekati sempurna.

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Untuk camshaft standar, pergeseran $+5^\circ$ memberikan kenaikan daya sebesar 5% dan torsi naik sebesar 6% pada putaran mesin di atas 7000 rpm
2. Untuk camshaft standar dengan pergeseran -5° , memberikan kenaikan daya sebesar 30% dan torsi naik sebesar 7% pada putaran diatas 8000 rpm namun pada putaran dibawah 7000 rpm mengalami penurunan daya sebesar 4% demikian juga dengan torsi mengalami penurunan sebesar 4%
3. Nilai sfc camshaft exhaust standar turun/naik sebesar 1,1 pada pergeseran $+5^\circ$ dibandingkan dengan camshaft standar.
4. Untuk camshaft standar dengan pergeseran -5° , nilai sfc mengalami penurunan sebesar 4,1% dibandingkan dengan camshaft standar.
5. Untuk camshaft modifikasi dengan pergeseran $+15^\circ$, pada putaran 5500 rpm mengalami kenaikan daya sebesar 58,18 % namun pada putaran diatas 8000 rpm mengalami penurunan daya sebesar 0,84%.
6. Sedangkan untuk torsi, camshaft modifikasi dengan pergeseran $+15^\circ$ mengalami kenaikan sebesar 59% pada putaran diatas 5500 rpm, namun pada putara diatas 8000 rpm mengalami penurunan sebesar 1%.
7. Untuk camshaft modifikasi, pada pergeseran $+15^\circ$, nilai sfc mengalami penurunan sebesar 9% dibandingkan dengan camshaft modifikasi nol.

5.2 Saran

1. Guna mendapatkan daya dan torsi yang terbaik dari putaran bawah sampai putaran atas, diperlukan sistim elektronik untuk mengatur pergeseran camshaft.
2. Pada camshaft modifikasi diperlukan modifikasi sistim karburasi, kompresi atau kapasitas silinder yang lebih besar guna mendapatkan

performa daya dan torsi yang lebih baik dibanding camshaft exhaust standar.

3. Diperlukan alat ukur flowrate untuk mendeteksi efisiensi volumetris.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Untuk camshaft standar, pergeseran $+5^\circ$ memberikan kenaikan daya sebesar 5% dan torsi naik sebesar 6% pada putaran mesin di atas 7000 rpm
2. Untuk camshaft standar dengan pergeseran -5° , memberikan kenaikan daya sebesar 30% dan torsi naik sebesar 7% pada putaran diatas 8000 rpm namun pada putaran dibawah 7000 rpm mengalami penurunan daya sebesar 4% demikian juga dengan torsi mengalami penurunan sebesar 4%
3. Nilai sfc camshaft exhaust standar turun/naik sebesar 1,1 pada pergeseran $+5^\circ$ dibandingkan dengan camshaft standar.
4. Untuk camshaft standar dengan pergeseran -5° , nilai sfc mengalami penurunan sebesar 4,1% dibandingkan dengan camshaft standar.
5. Untuk camshaft modifikasi dengan pergeseran $+15^\circ$, pada putaran 5500 rpm mengalami kenaikan daya sebesar 58,18 % namun pada putaran diatas 8000 rpm mengalami penurunan daya sebesar 0,84%.
6. Sedangkan untuk torsi, camshaft modifikasi dengan pergeseran $+15^\circ$ mengalami kenaikan sebesar 59% pada putaran diatas 5500 rpm, namun pada putara diatas 8000 rpm mengalami penurunan sebesar 1%.
7. Untuk camshaft modifikasi, pada pergeseran $+15^\circ$, nilai sfc mengalami penurunan sebesar 9% dibandingkan dengan camshaft modifikasi nol.

5.2 Saran

1. Guna mendapatkan daya dan torsi yang terbaik dari putaran bawah sampai putaran atas, diperlukan sistim elektronik untuk mengatur pergeseran camshaft.
2. Pada camshaft modifikasi diperlukan modifikasi sistim karburasi, kompresi atau kapasitas silinder yang lebih besar guna mendapatkan

performa daya dan torsi yang lebih baik dibanding camshaft exhaust standar.

3. Diperlukan alat ukur flowrate untuk mendeteksi efisiensi volumetris.

LAMPIRAN

Daftar Tabel Hasil Pengujian

CAM STANDAR

RPM	hp std (hp)	Torsi (N.m)	sfc std (gr/hp.min)	t (detik)
4000	7	12,43	16,57	37,87
4500	8,1	12,78	14,47	37,47
5000	9,8	13,93	12,16	36,86
5500	11,3	14,68	11,19	34,74
6000	13	15,47	10,45	32,33
6500	14,8	16,28	10,05	29,53
6603	15,1	16,37	10,01	29,06
7000	15,6	15,9	10,38	27,13
7271	16,2	15,84	10,93	24,80
7500	16	15,21	11,16	24,6
8000	15,2	13,49	12,15	23,79
8500	14,2	11,81	13,58	22,77
9000	12,2	9,62	17,36	20,73667

CAM STANDAR

RPM	CO	Co _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	7,22	8.13	6.1	475	6.56	1.056
5000	7,50	7.65	7.2	373	4.59	0.956
6000	7,22	7.22	8.4	290	3.33	0.917
6500	7,10	7.10	8.6	295	3.08	0.011
7500	6,31	6.31	9.6	241	2.48	0.914
8500	7,22	8.13	6.1	475	6,56	1.056

CAM STANDAR +5 EXHAUST

RPM	hp std +5 (hp)	Torsi (N.m)	sfc std (gr/hp.min)	t (detik)
4000	6,8	12,12	16,90	38,21
4500	8,2	13,02	14,66	36,54
5000	10,2	14,58	12,61	34,15
5500	11,8	15,3	11,52	32,31
6000	13,6	16,18	10,68	30,24
6500	15,4	16,91	10,01	28,49
6658	15,9	17	9,86	28,004
7000	16,3	16,46	10,27	26,24
7318	16,7	16,28	10,75	24,47
7500	16,4	15,51	11,09	24,14
8000	15,9	14,05	11,71	23,58
8500	14,9	12,44	13,12	22,47
9000	13,8	10,85	14,90	21,36

CAM STANDAR +5 EXHAUST

RPM	CO	CO _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	7.69	8.42	6.0	355	6.19	1.023
5000	8.50	8.50	6.6	311	4.69	0.927
6000	8.41	8.41	7.2	236	4,04	0.908
6500	8.09	8.09	8.0	207	3.339	0.896
7500	8.25	8.25	8.4	189	2.82	0.873
8500	6.20	6.209	9.8	129	2.42	0.919

CAM STANDAR + 10

RPM	hp std +10 (hp)	Torsi (N.m)	sfc std (gr/hp.min)	t (detik)
4000	6,5	11,59	17,74	38,08
4500	8,2	12,98	14,27	37,52
5000	10	14,29	11,89	36,93
5500	11,8	15,28	11,04	33,70
6000	13,5	16,03	10,61	30,65
6500	15,4	16,87	9,82	29,03
6577	15,5	16,87	9,27	30,56
7000	16,2	16,53	10,04	27,00
7236	16,6	16,39	10,60	24,96
7500	16,3	15,52	10,97	24,57
8000	15,7	13,91	11,76	23,79
8500	14,9	12,45	12,95	22,76
9000	13,1	10,3	15,43	21,72

CAM STANDAR +10 EXHAUST VALVE

RPM	CO	CO _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	7.79	8.47	6.0	361	5.68	1.008
5000	8.10	8.10	7.0	256	4.80	0.950
6000	8.20	8.20	7.8	212	3.33	0.889
6500	8.88	8.88	7.7	236	2.80	0.848
7500	7.91	7.91	8.5	203	2.64	0.875
8500	6.89	6.89	9.5	132	2.60	0.907

CAM STANDAR + 15 EXHAUST VALVE

RPM	hp std +15 (hp)	Torsi (N.m)	sfc std (gr/hp.min)	t (detik)
4000	6,3	11,31	19,60	35,57
4500	8	12,64	15,80	34,75
5000	9,9	14,12	13,11	33,83
5500	11,5	14,85	12,07	31,65
6000	13,6	16,15	11,22	28,79
6500	15,2	16,64	10,61	27,23
6724	15,9	16,86	10,40	26,55
7000	16	16,35	10,47	26,21
7355	16,6	16,1	10,93	24,22
7500	16,4	15,48	11,16	24
8000	15,8	14,02	11,91	23,35
8500	15	12,5	13,02	22,48
9000	13,4	10,5	15,17	21,61

CAM STANDAR + 15 EXHAUST VALVE

RPM	CO	CO _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	7.67	8.41	6.0	324	6.10	1.021
5000	8.11	8.15	6.8	283	4.74	0.944
6000	8.38	8.28	7.4	212	3.96	0.911
6500	8.24	8.24	7.7	199	3.46	0.893
7500	8.19	8.19	8.0	175	3.20	0.887
8500	5.89	5.89	9.8	126	2.34	0.924

CAM STANDAR -5 EXHAUST VALVE

RPM	hp std -5 (hp)	Torsi (N.m)	sfc std (gr/hp.min)	t (detik)
4000	6,7	11,91	16,83	38,96
4500	8,1	12,79	14,03	38,64
5000	9,9	14,13	11,60	38,23
5500	11,6	15,07	10,82	35,005
6000	13,3	15,86	10,39	31,78
6500	15,1	16,6	9,82	29,61
6693	15,7	16,81	9,68	28,89
7000	16,2	16,41	10,05	26,98
7298	16,6	16,22	10,39	25,46
7500	16,3	15,47	10,81	24,93
8000	15,7	13,92	11,72	23,86
8500	14,9	12,43	13,14	22,44
9000	14,5	10,82	13,94	21,73

CAM STANDAR -5 EXHAUST VALVE

RPM	CO	Co _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	6,81	7.79	6.3	306	6.45	1.077
5000	6,62	6.88	7.8	219	4.45	0.987
6000	6,93	7.05	7.8	243	4.08	0.958
6500	7,15	7.15	8.0	181	3,75	0.940
7500	8,42	8.42	7.9	198	2.89	0.866
8500	6,83	6.83	8.9	128	2,69	0.909

CAM STANDAR – 10 EXHAUST VALVE

RPM	hp std -10 (hp)	Torsi (N.m)	sfc std (gr/hp.min)	t (detik)
4000	7	12,43	16,17	38,80
4500	8,1	12,78	14,20	38,19
5000	9,8	13,93	12,03	37,25
5500	11,3	14,68	11,39	34,13
6000	13	15,47	11,04	30,60
6500	14,8	16,28	10,65	27,87
6603	15,1	16,37	10,61	27,42
7000	15,6	15,9	11,20	25,14
7271	16,2	15,84	10,89	24,89
7500	16	15,21	11,12	24,68
8000	15,2	13,49	12,31	23,48
8500	14,2	11,81	14,07	21,98
9000	12,2	9,62	17,58	20,48

CAM STANDAR – 10 EXHAUST VALVE

RPM	CO	CO _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	7.36	7.96	6.5	426	5.63	1.006
5000	7.94	7.94	7.2	317	4.17	0.925
6000	8.64	8.64	7.3	274	3.57	0.881
6500	8.50	8.50	8.0	235	2.79	0.860
7500	7.68	7.68	9.0	183	2.23	0.867
8500	6.55	6.55	9.8	148	2.26	0.903

CAM MODIF NOL EXHAUST VALVE

RPM	hp std (hp)	Torsi (N.m)	T(detik)	sfc std (gr/hp.min)
4000	4,4	9,55	31,17	32,03
4500	3,2	5,05	29,34	46,79
5000	3,8	5,3	30,25	38,21
5500	5,5	7,04	28,43	28,09
6000	8,3	9,8	25,43	20,81
6500	10,7	11,7	23,28	17,64
7000	12,9	13,1	21,30	15,98
7481	14,2	13,5	20,12	15,38
7500	14,3	13,49	20,03	15,34
8000	14,6	12,92	19,8	15,23
8007	14,6	12,92	19,75	15,23
8500	13,6	11,36	19,13	16,89
9000	11,9	9,36	18,49	19,96

CAM MODIF NOL EXHAUST VALVE

RPM	CO	Co _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	8,65	8,65	7,1	487	3,82	1
5000	9,84	9,84	7,1	451	2,91	0,818
6000	9,54	9,54	8,1	268	1,98	0,805
6500	9,33	9,33	8,5	279	1,58	0,798
7500	9,75	9,75	8,8	197	0,87	0,77
8500	8,85	8,85	9,6	159	0,67	0,79

CAM MODIF +5 EXHAUST VALVE

RPM	hp std (hp)	Torsi (N.m)	T(detik)	sfc std (gr/hp.min)
4000	5,4	9,57	32,63	24,93
4500	2,7	4,25	31,00	52,48
5000	3,7	5,29	31,60	37,56
5500	4,6	5,96	30,72	31,08
6000	8,1	9,54	27,30	19,87
6500	10,1	11,03	23,32	18,65
7000	12,4	12,63	21,58	16,41
7242	13,4	13,2	19,78	16,57
7500	13,7	12,96	19,24	16,67
8000	14,4	12,78	17,97	16,97
8150	14,7	12,77	17,86	16,73
8500	14,1	11,75	18,08	17,23
9000	11,9	9,31	17,24	21,41

CAM MODIF +5 EXHAUST VALVE

RPM	CO	CO _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	8,93	8,93	7,5	546	3,01	1
5000	9,17	9,17	8	367	2,34	0,823
6000	9,99	9,99	7,5	396	1,66	0,772
6500	9,99	9,99	7,9	359	1,14	0,759
7500	9,99	9,99	8,6	244	0,71	0,756
8500	9,57	9,57	9	213	0,52	0,763

CAM MODIF +10 EXHAUST VALVE

RPM	hp std (hp)	Torsi (N.m)	T(detik)	sfc std (gr/hp.min)
4000	4,8	8,47	31,17	29,36
4500	2,9	4,62	29,43	51,47
5000	4,7	6,66	30,25	30,89
5500	7,7	9,93	27,52	20,73
6000	10	11,82	25,43	17,27
6500	11,5	12,61	23,28	16,41
7000	13,5	13,64	20,40	15,95
7280	14,5	14,15	20,06	15,10
7500	14,6	13,86	20,03	15,02
7771	14,8	13,54	19,96	14,87
8000	14,4	12,78	19,62	15,54
8500	13,8	11,49	19,13	16,64
9000	11,4	8,95	18,63	20,68

CAM MODIF +10 EXHAUST VALVE

RPM	CO	CO _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	8,6	8,6	6,8	516	4,17	1
5000	9,35	9,35	7	378	3,47	0,853
6000	9,99	9,99	7,2	449	2,47	0,798
6500	9,99	9,99	7,8	351	1,69	0,779
7500	9,86	9,86	7,3	499	4,46	0,8
8500	8,34	8,34	9,2	164	1,78	0,837

CAM MODIF +15 EXHAUST VALVE

RPM	hp std (hp)	Torsi (N.m)	T(detik)	sfc std (gr/hp.min)
4000	3,8	6,64	32,10	36,01
4500	2,5	3,93	35,18	49,93
5000	4,9	6,9	29,49	30,39
5500	8,7	11,2	26,04	19,38
6000	10,5	12,39	24,41	17,14
6500	12,1	13,26	23,95	15,16
7000	13,7	13,89	24,18	13,26
7237	14	14,24	24,22	12,95
7500	14,6	13,69	21,26	14,15
7786	14,9	13,64	19,78	14,90
8000	14,5	12,87	19,82	15,28
8500	13,6	11,28	19,91	16,22
9000	11,8	9,24	20,00	18,61

CAM MODIF +15 EXHAUST VALVE

RPM	CO	CO _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	9,17	9,17	6,4	383	4,25	1
5000	9,55	9,55	6,6	366	3,7	0,853
6000	9,87	9,87	6,7	479	3,38	0,83
6500	9,01	9,01	7,8	241	2,54	0,835
7500	9,56	9,56	8,4	199	1,43	0,789
8500	7,41	7,41	9,8	148	1,15	0,837

CAM MODIF -5 EXHAUST VALVE

RPM	hp std (hp)	Torsi (N.m)	T(detik)	sfc std (gr/hp.min)
4000	5,4	9,57	32,63	24,93
4500	2,7	4,25	31,00	52,48
5000	3,7	5,29	31,60	37,56
5500	4,6	5,96	30,72	31,08
6000	8,1	9,54	27,30	19,87
6500	10,1	11,03	23,32	18,65
7000	12,4	12,63	21,58	16,41
7242	13,4	13,2	19,78	16,57
7500	13,7	12,96	19,24	16,67
8000	14,4	12,78	17,97	16,97
8150	14,7	12,77	17,86	16,73
8500	14,1	11,75	18,08	17,23
9000	11,9	9,31	17,24	21,41

CAM MODIF -5 EXHAUST VALVE

RPM	CO	Co _{cor}	CO ₂	HC	O ₂	λ
4000	8,65	8,65	7,6	685	3,14	1
5000	9,05	9,05	7,9	582	2,6	0,828
6000	9,72	9,72	8,1	340	1,53	0,782
6500	9,99	9,99	7,5	361	2,13	0,791
7500	9,99	9,99	7,5	316	1,85	0,782
8500	9,99	9,99	8,4	304	0,87	0,758

Tabel daya (hp) mesin untuk cam exhaust standar dan variabelnya

RPM	hp std	hp + 5	hp + 10	hp +15	hp - 5	hp - 10
4000	7	6,8	6,5	6,3	6,7	7
4500	8,3	8,2	8,2	8	8,1	8,1
5000	10	10,2	10	9,9	9,9	9,8
5500	11,5	11,8	11,8	11,5	11,6	11,3
6000	13,6	13,6	13,5	13,6	13,3	13
6500	15,3	15,4	15,4	15,2	15,1	14,8
6693	15,7	15,9	15,5	15,9	15,7	15,1
7000	16	16,3	16,2	16	16,2	15,6
hp max	16,4 (7324)	16,7 (7318)	16,6 (7236)	16,6 (7355)	16,6 (7298)	16,2 (7271)
7500	16,1	16,4	16,3	16,4	16,3	16
8000	15,5	15,9	15,7	15,8	15,7	15,2
8500	14,5	14,9	14,9	15	14,9	14,2
9000	13,1	13,8	13,1	13,4		12,2

Tabel Torsi (N.m) mesin untuk cam exhaust standar dan variabelnya

RPM	Torsi std	torsi + 5	torsi + 10	torsi + 15	torsi - 5	torsi - 10
4000	12,46	12,12	11,59	11,31	11,91	12,43
4500	13,1	13,02	12,98	12,64	12,79	12,78
5000	14,36	14,58	14,29	14,12	14,13	13,93
5500	14,99	15,3	15,28	14,85	15,07	14,68
6000	16,11	16,18	16,03	16,15	15,86	15,47
6500	16,68	16,91	16,77	16,64	16,6	16,28
peak torsi	16,79 (6693)	17 (6658)	16,87 (6577)	16,86 (6724)	16,81 (6693)	16,37 (6603)
7000	16,28	16,46	16,53	16,35	16,41	15,9
7324	15,98	16,28	16,39	16,1	16,22	15,84
7500	15,17	15,51	15,52	15,48	15,47	15,21
8000	13,78	14,05	13,91	14,02	13,92	13,49
8500	12,1	12,44	12,45	12,5	12,43	11,81
9000	10,27	10,85	10,3	10,5	10,94	9,62

Tabel daya (hp) mesin untuk cam modifikasi exhaust standar dan variabelnya

RPM	nol	-5	5	10	15
4000	5,4	5,4	4,9	4,8	3,8
4500	3,2	2,7	2,7	2,9	2,5
5000	3,8	3,7	4,1	4,7	4,9
5500	5,5	4,6	5,6	7,7	8,7
6000	8,3	8,1	9,3	10	10,5
6500	10,7	10,1	11,5	11,5	12,1
7000	12,9	12,4	13,5	13,5	13,7
7481	14,2	13,4	14,5	14,5	14,5
7500	14,3	13,7	14,6	14,6	14,5
8000	14,6	14,4	14,6 (7962)	14,8 (7771)	14,9 (7786)
8007	14,6	14,7 (8150)	14,6 (8000)	14,4 (8000)	14,5 (8000)
8500	13,6	14,1	13,8	13,8	13,6
9000	11,9	11,9	12	11,4	11,8

Tabel Torsi (N.m) mesin untuk cam modifikasi exhaust standar dan variabelnya

RPM	nol	-5	5	10	15
4000	9,55	9,57	8,64	8,47	6,64
4500	5,05	4,25	4,24	4,62	3,93
5000	5,3	5,29	4,1	6,66	6,9
5500	7,04	5,96	5,6	9,93	11,2
6000	9,8	9,54	9,3	11,82	12,39
6500	11,7	11,03	11,5	12,61	13,26
7000	13,1	12,63	13,5	13,64	13,89
torsi max	13,5 (7481)	13,2 (7242)	13,84 (7477)	14,15 (7280)	14,24 (7237)
7500	13,49	12,96	13,82	13,86	13,69
8000	12,92	12,78	13,07	13,54	13,64
8007	12,92	12,77	12,91	12,78	12,87
8500	11,36	11,75	11,52	11,49	11,28
9000	9,36	9,31	9,43	8,95	9,24

Tabel prosentase daya (hp) untuk cam exhaust variabel terhadap cam standar

RPM	Hp +5	Hp +10	Hp +15	Hp -5	hp-10
4000	-3%	-7%	-10%	-4%	0%
4500	-1%	-1%	-4%	-2%	-2%
5000	2%	0%	-1%	-1%	-2%
5500	3%	3%	0%	1%	-2%
6000	0%	-1%	0%	-2%	-4%
6500	1%	1%	-1%	-1%	-3%
6693	1%	-1%	1%	0%	-4%
7000	2%	1%	0%	1%	-3%
7324	2%	1%	1%	1%	-1%
7500	2%	1%	2%	1%	-1%
8000	3%	1%	2%	1%	-2%
8500	3%	3%	3%	3%	-2%
9000	5%	0%	2%	30%	-7%

Tabel prosentase Torsi (N.m) mesin untuk cam exhaust variabel terhadap cam standar

RPM	std	Torsi 5	Torsi 10	Torsi 15	Torsi -5	Torsi -10
4000	0%	-3%	-7%	-9%	-4%	0%
4500	0%	-1%	-1%	-4%	%	-2%
5000	0%	2%	0%	-2%	-2%	-3%
5500	0%	2%	2%	-1%	1%	-2%
6000	0%	0%	0%	0%	-2%	-4%
6500	0%	1%	1%	0%	0%	-2%
6693	0%	1%	0%	0%	0%	-3%
7000	0%	1%	2%	0%	1%	-2%
7324	0%	2%	3%	1%	2%	-1%
7500	0%	2%	2%	2%	2%	0%
8000	0%	2%	1%	2%	1%	-2%
8500	0%	3%	3%	3%	3%	-2%
9000	0%	6%	0%	2%	7%	-6%

Tabel prosentase Daya (hp) mesin untuk cam exhaust modifikasi variabel terhadap cam standar

RPM	nol	hp modif -5	hp modif + 5	hp modif +10	hp modif +15
4000	0%	0%	-9,26	-11,11	-29,63
4500	0%	-15,63	-15,63	-9,38	-21,88
5000	0%	-2,63	7,89	23,68	28,95
5500	0%	-16,36	1,82	40,00	58,18
6000	0%	-2,41	12,05	20,48	26,51
6500	0%	-5,61	7,48	7,48	13,08
7000	0%	-3,88	4,65	4,65	6,20
7481	0%	-5,63	2,11	2,11	2,11
7500	0%	-4,20	2,10	2,10	1,40
8000	0%	-1,37	0,00	1,37	2,05
8007	0%	0,68	0,00	-1,37	-0,68
8500	0%	3,68	1,47	1,47	0,00
9000	0%	0	0,84	-4,20	-0,84

Tabel prosentase Torsi (N.m) mesin untuk cam exhaust modifikasi dan variabelnya terhadap cam standar.

RPM	nol	torsi -5	Torsi + 5	Torsi +10	Torsi + 15
4000	0%	0 %	-10%	-11%	-30%
4500	0%	-16 %	-16%	-9%	-22%
5000	0%	0%	-23%	26%	30%
5500	0%	-15%	-20%	41%	59%
6000	0%	-3%	-5%	21%	26%
6500	0%	-6%	-2%	8%	13%
7000	0%	-4%	3%	4%	6%
7481	0%	-2%	3%	5%	5%
7500	0%	-4%	2%	3%	1%
8000	0%	-1%	1%	5%	6%
8007	0%	-1%	0%	-1%	0%
8500	0%	3%	1%	1%	-1%
9000	0%	-1%	1%	-4%	-1%

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas bimbingan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Studi Eksperimental Komparasi Buka Tutup Katup Buang (*Exhaust Valve*) Dan Modifikasinya Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah Dohc 4 Katup” ini dengan lancar.

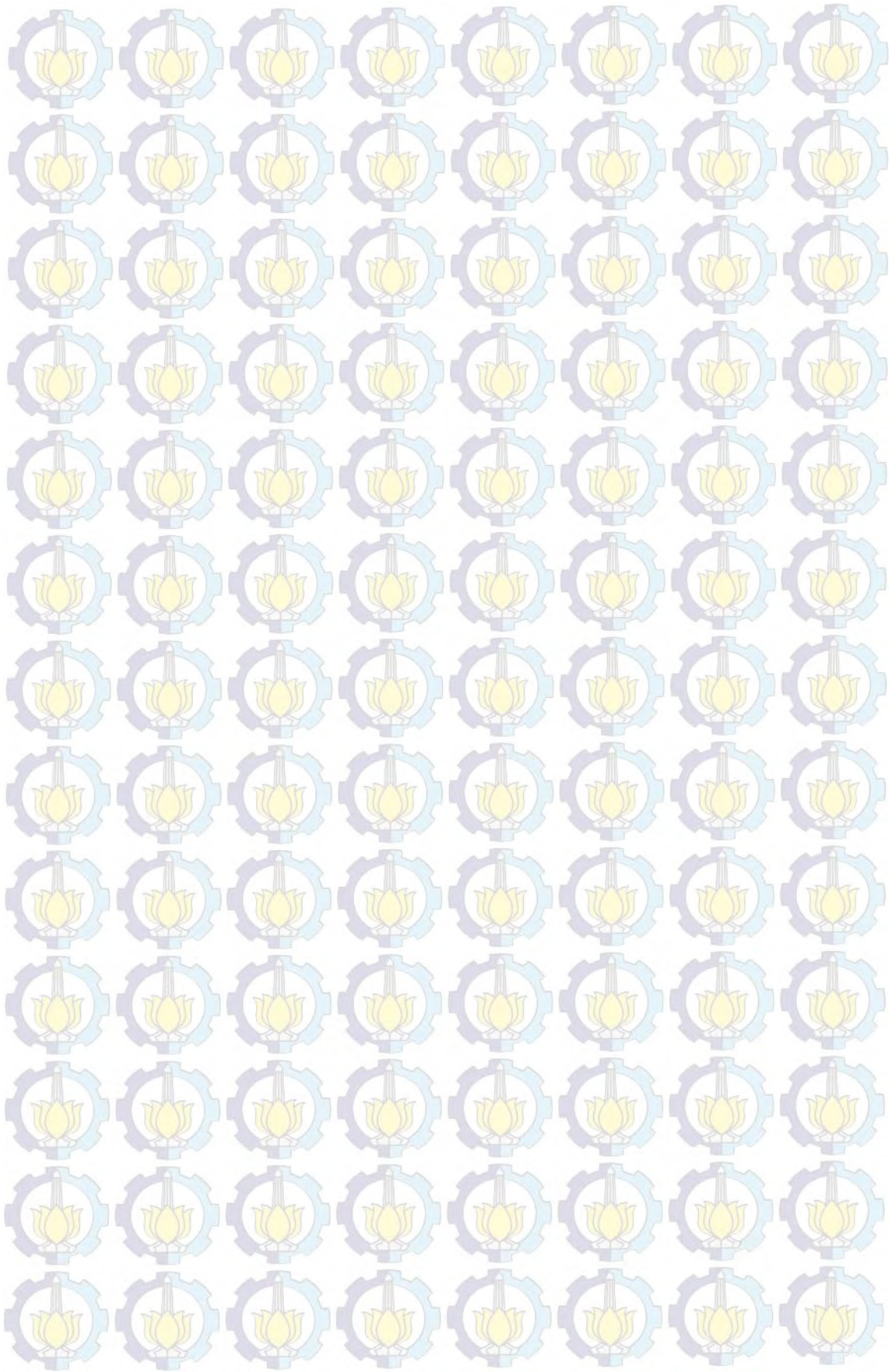
Untuk penyelesaian tesis ini tidak lepas dari motivasi dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, baik berbentuk moral maupun spiritual. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Sutardi, MSc,Ph.D selaku Ketua Jurusan Pascasarjana Teknik Mesin beserta staf.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Djoko Sungkono K., M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing tesis yang secara langsung telah banyak memberikan bantuan dalam penyelesaian tesis ini.
3. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Rekayasa Konversi Energi Teknik Mesin FTI ITS angkatan 2011, 2012 dan 2013 yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama bimbingan tesis.
4. Suamiku terkasih Yudi “*Grandong*” yang telah memberikan dorongan, semangat, cinta dan kasih sayang, perhatian serta kemesraan juga kedua permata hatiku Bonaventura Tirta Yuanda dan Davina Alexadiandra yang telah menjadi lentera dan penyemangat dalam hidupku.
5. Semua pihak yang telah membantu menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tentu saja tulisan ini masih sangat jauh dari sempurna, karena itu saran dan kritik sangat diharapkan untuk lebih sempurnanya Tesis ini.

Suarabaya, 2 September 2014

Penulis



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali Mohammad Pourkhesalian, Amir Hossein Shamekhi and Farh Salimi (2013) *NOx Control Using Variable Exhaust Valve Timing and Duration*, SAE Paper
- [2] Antoni, J. (2012). *Konsep Pengembangan Mekanisme single Rail Untuk Perubahan Buka-tutup Katup Pada Single Camshaft*, Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia. Jakarta.
- [3] Astawa, K. (2010). *Pencapaian Performa Pada Katup Variabel Timing Fixed Timing Untuk Mesin Yang Optimal*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
- [4] Fontana, G., Galloni, E. (2008). *Variable valve timing for fuel economy improvement in a small spark-ignition engine*. Department of Industrial Engineering, University of Cassino. Italy.
- [5] Masi, M., Toffolo, A., Antonello, M. (2009). *Experimental analysis of a motorbike high speed racing engine*. Department of Mechanical Engineering, University of Padova. Italy.
- [6] Nagaya, K., Kobayashi, H., Koike, K. 2005. *Valve timing and valve lift control mechanism for engines*. Department of Mechanical Engineering, Gunma University. Japan.
- [7] Osama H. M. Ghazal, Yousef S.H. Najjar, Kutaeba J. M. Al-Khishali (2013), *Modeling The Effect Of Variable Timing Of The Exhaust Valves On SI Engine Emissions For Greener Vehicles*. Mechanical Engineering Department, Applied Science Private University, Amman, Jordan
- [8] Setiyo. Muji, Condro P. Bagiyo (2010), *Pemajuan Valve Timing Terhadap Peningkatan Perbandingan Kompresi Aktual, Torsi Dan Daya; Upaya Untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Mesin*, Program Studi Teknik Otomotif, Universitas Muhammadiyah Magelang, Indonesia.
- [9] Sher, E., Bar-Kohany, T. 2002. *Optimization of variable valve timing for maximizing performance of an unthrottled SI engine a theoretical study*. Department of Mechanical Engineering, Ben-Gurion University of the Negev. Israel
- [10] Verhelst, S., et.al. (2010). *Impact of variable valve timing on power, emissions and backfire of a bi-fuel hydrogen/gasoline engine*. Department of Flow, Heat and Combustion Mechanics, Ghent University. Belgium.

halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Drs. P. Suparno DS dan Dra. FL. Sulastrri yang dilahirkan di Abepura Papua, pada tanggal 4 Januari 1975. Penulis telah menempuh pendidikan formal, antara lain di SD, SMP dan SMA di Jayapura, Papua. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Jayapura tahun 1993, Penulis melanjutkan studi S1 di Universitas Hang Tuah Surabaya pada jurusan Teknik Permesinan Kapal dan lulus tahun 2000. Kemudian pada tahun 2011 Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S2 di Pascasarjana Teknik Mesin ITS bidang keahlian Rekayasa Konversi Energi dan lulus tahun 2015 dengan tesis “Studi Eksperimental Komparasi Buka Tutup Katub Buang (Exhaust Valve) Dan Modifikasinya Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah Dohc 4 Katub”.